

KR E-02100

Rev.7, 15. February 2021

변전소 등의 접지

2021. 02. 15



국가철도공단

목 차

1. 변전소등의 접지	1
1.1. 적용범위	1
1.2. 일반사항	1
1.3. 접지설계 기본사항	1
1.4. 접지 설계	4
해설 1. 접지설계	17
1. 적용범위	17
2 일반사항	17
3. 접지설계 기본사항	17
3.1 인체 허용전류	17
3.2 위험전압의 정의	18
3.3 인체의 안전	18
4. 접지 설계	23
4.1 접지설계 절차	23
4.2 접지 형태	23
4.3 토양의 특성조사	23
4.4 접지전류의 산정	24
4.5 접지도체와 연결선의 접속방법	26
부속서 1. 대지 저항률의 측정방법	27
1. 측정의 개요	27
2. 측정 방법	27
2.1 Wenner의 4전극 배치법	27
2.2 간이측정법	28
3. 대지 저항률의 측정 절차	29
3.1 Wenner의 4전극 배치법에 의한 대지 저항률 측정 절차	29
3.2 간이측정법에 의한 대지 저항률의 측정 절차	32
부속서 2. 접지 저항의 측정방법	35
1. 측정의 개요	35



1.1 접지저항의 측정 원리	35
1.2 전위강하법(Fall-of-Potential Method)	36
1.3 전위강하법에서 전류 보조전극의 거리	38
1.4 전위강하법에서 전류 및 전위 보조전극(C_1 과 P_1)의 연결	39
2. 전위강하법에 의한 접지저항의 측정 절차	40
2.1 측정 장비	40
2.2 측정 절차	40
RECORD HISTORY	43

경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 철도설계지침 및 편람을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 항목별(코드별)로 변경하였습니다. 또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 항목별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별 수정되어 공단 EPMS, CPMS, 홈페이지 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- 철도설계지침 및 편람(KR CODE)에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 한다.

1. 변전소등의 접지

1.1. 적용범위

이 기준은 전철변전소의 설비 및 인명을 보호하기 위한 접지설계에 적용한다. 여기서 전철변전소는 급전구분소(SP), 보조급전구분소(SSP) 및 병렬급전소(PP), 단말보조급전구분소(ATP)를 포함한다.

1.2. 일반사항

- 1.2.1 각종 변전설비를 보호하고, 전력공급의 연속성을 위하여 전철전력계통에서 정상 운전인 경우 또는 고장이 발생한 경우에 나타나는 전류를 대지로 안전하게 흘릴 수 있어야 한다.
- 1.2.2 변전소 내·외부에서 발생한 지락고장에 의한 인체에 위험을 초래하는 보폭전압 및 접촉전압을 최대허용전압 이하로 억제하여야 한다.
- 1.2.3 접지된 설비의 주위에 있는 사람이 치명적인 전기적 충격의 위험에 노출될 위험을 줄여야 한다.
- 1.2.4 지락고장이 발생한 경우에 고장전류가 대지로 흘러 들어가면 변전소의 구내 및 주변에 전위차가 발생하여 지표면에 발생하는 전위경도가 사람이나 동물에게 전기적인 위험을 발생시킬 수 있다. 특히 접지한 철구, 기기의 외함 또는 지지물과 부근 대지 위의 인체에 위험한 전위차가 발생할 수 있다. 이와 같은 위험 전위는 접지시스템의 구조, 접지지점 대지의 특성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등의 관련되는 요소가 많을 뿐 아니라 그 특성이 복잡하고 불확실하여 정확한 계산은 매우 어렵다. 따라서 변전설비에 대한 접지를 적절하게 설계 및 시공하여 이러한 위험으로부터 보호하여야 한다.

1.3. 접지설계 기본사항

1.3.1 인체 허용전류

- (1) 전류가 인체에 미치는 영향은 주파수, 통전전류, 지속시간 및 통전경로에 관계되며, 본 기준에서는 상용주파수(60Hz)에 대하여만 고려한다.
- (2) 인체에 허용되는 전류 값은 아래 식에 의해 결정된다.

$$I_K = \frac{K}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

I_K : 인체 허용전류[A r.m.s]

K : 0.116(체중 50kg), 0.157(체중 70kg)

t : 인체 감전시간[s]



단, 지속시간 3초 이내에만 적용하고 감전시간이 수분 또는 그 이상일 경우 9mA 적용

1.3.2 최대허용 전압

(1) 보폭전압(step voltage)

최대허용 보폭전압(인체의 체중은 50kg을 기준)은 아래 식에 의해 결정된다.

최대허용 보폭전압(E_{step})

$$= (R_K + R_{2FS}) \cdot I_K$$

$$= (1,000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} [V] \dots\dots\dots \text{식 (2)}$$

R_K : 인체 내부저항(1,000Ω 적용)

R_{2FS} : 두 발사이의 직렬저항($6 \times C_s \times \rho_s$ 적용)

I_K : 인체 허용전류[A r.m.s]

C_s : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감쇄계수

ρ_s : 대지표면(표토층)의 고유저항률[Ω·m]

t_s : 인체 감전시간[s]

여기서, 감쇄계수 C_s 는 그림 1에서 구하며, 이때 사용되는 반사계수(K)는 아래 식에 의하여 계산한다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

ρ_s : 대지표면(표토층)의 고유저항률[Ω·m]

ρ : 토양의 등가 고유저항률[Ω·m]

수식에 의해 감쇄계수 C_s 을 계산할 경우에는 아래 식에 의한다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left\{ 1 - 0.106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 0.106} \right) \right\} \dots\dots\dots \text{식 (4)}$$

h_s : 대지표면(표토층)의 두께[m]

ρ : 토양의 등가 고유저항률[Ω·m]

ρ_s : 대지표면(표토층)의 고유저항률[Ω·m]

(자갈의 저항률은 3,000[Ω·m])

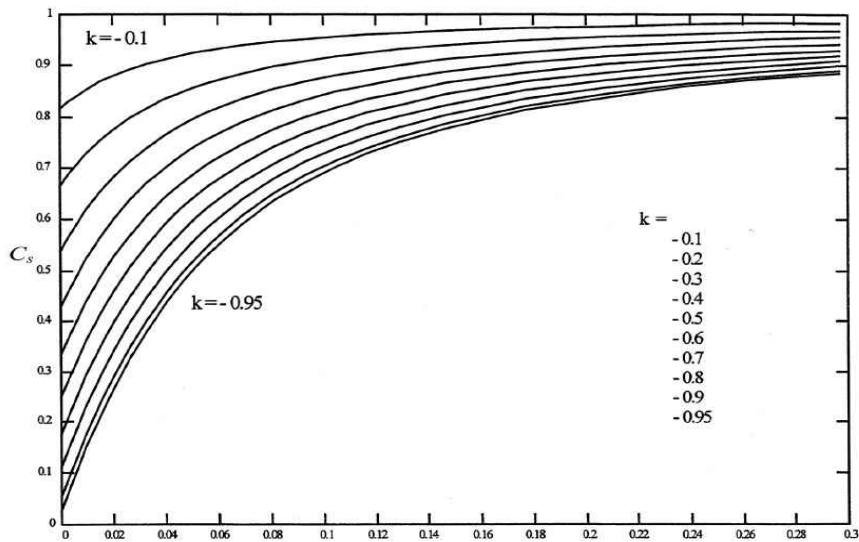


그림 1. 감쇄계수 C_s 곡선

(2) 접촉전압(touch voltage)

최대허용 접촉전압은 아래 식에 의해 결정된다.

최대허용 접촉전압(E_{touch})

$$\begin{aligned}
 &= (R_K + R_{2FP}) \cdot I_K \\
 &= (1,000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} [V] \dots\dots\dots \text{식 (5)}
 \end{aligned}$$

R_K : 인체 내부저항(1,000Ω 적용)

R_{2FP} : 두 발사이의 병렬저항($1.5 \times C_s \times \rho_s$ 적용)

I_K : 인체 허용전류[A r.m.s]

C_s : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감쇄계수

ρ_s : 대지표면(표토층)의 고유저항률[Ω·m]

t_s : 인체 감전시간[s]

(3) 대지전위상승(GPR : Ground Potential Rise)

접지저항은 가능한 한 낮게 하여야 하나 별도의 제한치를 설정하지 않으며, 대지전위상승 값은 가능한 한 10,000V 이내로 하되 부득이한 경우에는 통신 접속함을 구외에 설치하고 배전선로는 절연변압기를 사용하는 등의 대책수립을 전제로 15,000V 이내로 한다.



1.4. 접지 설계

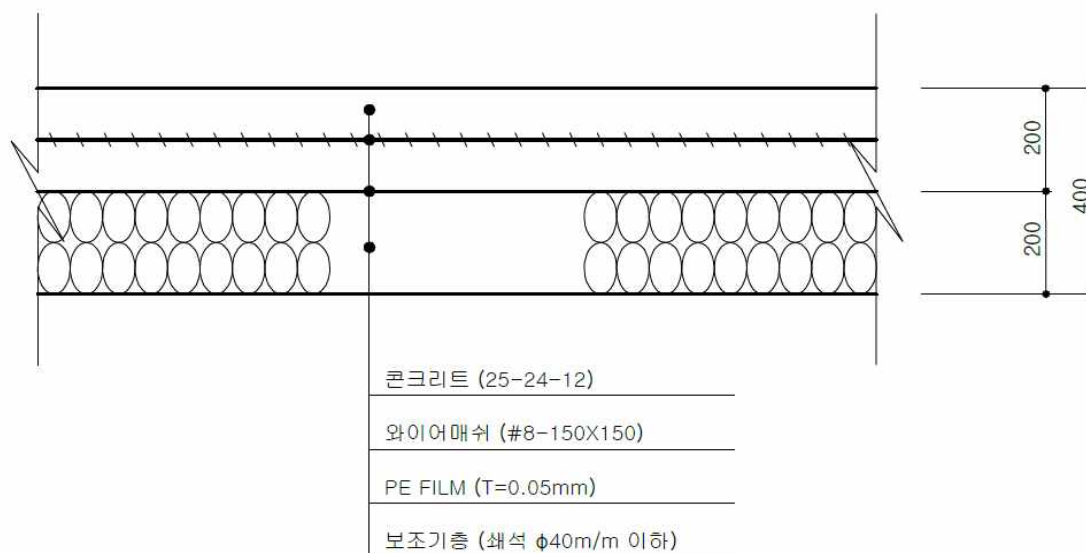
1.4.1 접지설계 일반

- (1) 전철변전소 접지는 메쉬 접지전극을 원칙으로 하고 접지저항은 가능한 낮게 한다.
- (2) 전철변전소의 기기배치를 고려하여 가능한 한 변전소 내에 최대한 넓은 지면을 점유할 수 있도록 접지망 포설면적을 산정한다.
- (3) 접지는 주 접지전극으로 접지망(ground grid)을 사용하고 소요 접지저항 및 최대 허용전압을 얻기 어려운 곳에서는 보조 접지전극을 병용한다. 또한 건물이나 기초의 철골 및 콘크리트, 금속제 수도관 등을 보조 접지전극으로 활용할 수 있다.
- (4) 접지망은 다음과 같이 구성한다.
 - ① 접지망은 정사각형 또는 직사각형으로 하고 접지도체는 허용 **접촉전압**과 **보폭전압**을 고려하여 일정한 간격(초기 설계시 10m 이상으로 하고, 최종 설계시 3m 이하가 되지 않도록 정함)으로 배열한다.
 - ② 접지망의 외곽도체(특히 모서리부분)는 허용 접촉전압의 만족을 위하여 접지도체를 추가하여 도체간격을 조밀하게 한다.
 - ③ 가공지선, 변압기 중성점, 피뢰기의 접지점 또는 계기용변압기와 변류기 등이 접속되는 곳에는 높은 전위경도의 발생을 억제하기 위하여 접지망의 접지도체(접지봉 또는 침상접지봉)를 추가하거나 도체간격을 조밀하게 할 수 있다.
 - ④ 접지망의 도체는 나연동선을 사용하고 접지봉은 동피복 강심봉을 사용한다.
 - ⑤ 접지망의 모서리, 외곽도체의 접속점(junction), 접지망 내부에 있는 기기의 접지 리드선 연결점, 변압기 중성점, 가공지선 및 피뢰기의 접지점 등에는 접지봉 또는 침상접지봉을 타설하고, 접지망에 접속시킨다.
 - ⑥ 케이블 덕트 및 트레이 상부에는 접지선을 설치하여 접지도체로 활용하고 양단을 접지한다.
 - ⑦ 기초파일 및 건축물 구조체의 접지전극 활용은 안전여유를 주기 위하여 접지저항 계산시 고려하지 않으나, 접지망과 건물철근은 연결함을 원칙으로 한다.
 - ⑧ 등전위본딩을 위한 접지망의 연결은 주접지망 포설 간격을 기준으로 접지선과 주철근과의 연결점, 접지선과 접지선의 연결점 및 접지선의 분기점 등은 압축 접지 슬리브로 접속하고, 주철근과 병행하는 접지선은 약 2m 간격마다 철근 접지 크램프로 철근과 접속한다.
- (5) 접지망의 설계 결과보고서에는 설계하는 과정에서의 여러 가지 파라미터(도체의 굵기 선정 데이터, 도체의 간격 변화 등)를 포함하여 작성되어야 한다.

(6) 인체에 위험을 주는 위험전압의 보폭전압과 접촉전압 허용값을 크게 하고 토양의 습기보존을 위하여 접지망이 포설된 변전소 지표면위에 10cm 이상의 자갈 또는 적정 절연능력을 가진 아스팔트나 투수콘 등을 포설한다. 이에 부지내 설계 현황을 반드시 확인하여야 한다.

· IEEE 80-2000 Table 7 - Typical surface material resistivities

종류	저항율(Resistivity)	
	Dry[Ω]	Wet[Ω]
아스팔트	100,000~30,000,000	10,000~6,000,000
콘크리트	200,000~100,000,000	21~100
쇄석(0.025~0.05m, Washed Granite)	1,500,000~4,500,000	5,000
쇄석(0.05~0.1m, Washed Granite)	2,600,000~3,000,000	10,000
쇄석(0.04m, Granite with fines)	4,000	1,200



< 변전소 부지 내 콘크리트 포장 단면도(예시) >



1.4.2 접지설계 절차

변전소의 접지설계를 위한 절차는 그림 2와 같으며, 각각의 과정별 작업 내용은 다음의 순서에 의한다.

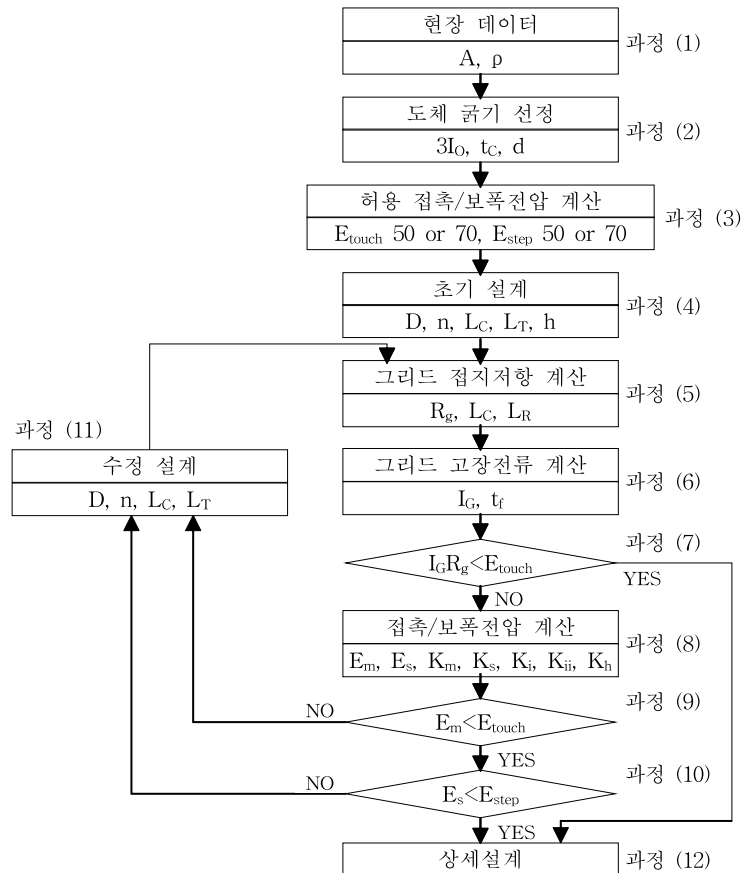


그림 2. 접지설계 흐름도

과정 (1) 변전소 설치 장소에 대한 현장의 정보를 파악한다.

- 설치장소의 가로 및 세로의 길이, 면적
- 설치장소의 대지저항률 측정 및 분석
- 설치 대상 변전소의 고장전류의 크기 결정

과정 (2) 접지도체의 종류 및 굵기를 결정한다.

- 고장전류의 크기(I_f), 고장지속 시간(t_c) 및 접지도체의 종류 등을 고려하여 접지도체의 굵기를 결정한다.

과정 (3) 인체의 안전전압을 위하여 최대 허용 접촉전압 ($E_{touch 50}$ 또는 70)과 최대 허용보폭전압 ($E_{step 50}$ 또는 70)에 대하여 인체의 체중을 50[kg] 혹은 70[kg]을 기준으로 결정한다.

과정 (4) 접지전극의 초기 설계(접지전극의 간격을 10m 이상으로 설정)를 실시한다.

- 과정 (5) 설계된 접지전극에 대한 접지저항(R_g)을 계산한다.
- 과정 (6) 접지전극에 흐르는 고장전류의 크기(I_g)를 결정한다.
- 고장전류의 분류계수(S_f) 결정
 - 비대칭분에 대한 교정계수(D_f) 결정
- 과정 (7) 대지전위상승(GPR)을 계산하여 최대 허용 접촉전압의 크기와 비교한다. 대지전위상승이 최대 허용 접촉전압($E_{touch\ 50}$ 또는 70)보다 작으면 접지설계를 완료하고 컴퓨터 프로그램 등을 활용한 상세설계를 수행하며, 그렇지 않으면 다음 단계를 진행한다.
- 대지전위상승은 접지전극에 흐르는 고장전류(I_g)의 크기와 계산된 접지전극의 접지저항(R_g)을 곱한 값으로 결정된다.
- 과정 (8) 접지전극에 대한 접촉전압(E_m)과 보폭전압(E_s)를 계산한다.
- 과정 (9) 계산된 접촉전압(E_m)과 최대 허용 접촉전압($E_{touch\ 50}$ 또는 70)을 비교하여, 접촉전압이 최대 허용 접촉전압보다 작으면 다음 단계를 진행하고, 그렇지 않으면 과정 (11)로 진행한다.
- 과정 (10) 계산된 보폭전압(E_s)와 최대 허용 보폭전압($E_{step\ 50}$ 또는 70)을 비교하여, 보폭전압이 최대 허용 보폭전압보다 작으면 접지설계를 완료하고 컴퓨터 프로그램 등을 활용한 상세설계를 수행하며, 그렇지 않으면 과정 (11)로 진행한다.
- 과정 (11) 메쉬 접지전극의 도체 간격을 조정(최소 간격 3m 정도)하거나 접지동봉의 추가 설치, 접지저감재 등을 추가하는 방법으로 설계를 수정하고, 과정 (5)로 진행한다.
- 과정 (12) 1차적으로 설계된 내용을 기준으로 접지설계 전문 프로그램을 활용한 최종 접지설계서를 작성한다.
- 과정 (13) 최종 접지설계서를 기준으로 접지망을 시공한다.
- 과정 (14) 시공완료 후의 접지망의 접지저항 측정과 가능하면 보폭전압 및 접촉전압 측정한다.
- 과정 (15) 실측값에 의한 과정 (5), (6), (7), (8), (9), (10) 및 (11) 항을 재검토한다.



1.4.3 접지전류의 산정

접지전류 I_G 는 아래 식에 의해 산출한다. 단, 철도변전소 경우에 계통확장계수 C_p 는 추후 계통을 확장할 예정이 없는 것으로 판단하여 1.0을 적용한다.

$$I_G = \beta \cdot D_f \cdot C_p \cdot I_F \text{ [A]} \dots\dots\dots \text{식 (6)}$$

β : 지락전류 분류계수

D_f : 비대칭분에 대한 교정계수

C_p : 계통확장계수(철도용 변전소의 경우 1.0 적용)

I_F : 최대 지락고장전류

1.4.3.1 지락전류 분류계수(β)

(1) 분류계수(β)는 1선지락 고장전류 중에서 접지망을 통하여 대지로 방출되는 전류의 크기를 나타내는 계수로 분류계수의 크기를 결정하는 중요한 요소들은 아래와 같다.

- ① 지락사고 위치
- ② 변전소 접지저항 값
- ③ 접지계통 주위에 매설된 배관 및 도체
- ④ 가공지선, 중성선
- ⑤ 지중 케이블을 포함한 기타 전류 귀환통로

(2) 분류계수는 지락고장전류의 20~40% 정도를 적용한다.

1.4.3.2 비대칭분에 대한 교정계수(D_f)

(1) 지락고장 발생 후 고장지속시간에 대한 유효전류를 결정하기 위하여 표 2와 같은 비대칭분의 교정계수를 적용한다.

(2) 산출된 최대 지락 고장전류 값에 고장지속시간에 따른 교정계수를 곱하여 지락전류를 교정한다.

표 2. 비대칭분에 대한 교정계수

고장 지속시간		교정계수(D_f)
초	주파수 (60Hz 교류)	
0.008	1/2	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5 또는 그 이상	30 또는 그 이상	1.0

1.4.3.3 최대 지락고장전류(I_F)의 산출

최대 지락고장전류(I_F)는 장기 계통 계획에 의한 해당 변전소의 1선지락 고장전류를 활용하거나 계통 확장을 고려하여 차단기 정격차단전류로 한다.

1.4.4 접지도체의 굵기 및 간격

(1) 접지도체는 최대지락전류 및 허용온도 등을 고려하여 아래와 같이 선정한다.

- ① 국부적으로 위험한 전위차가 발생하지 않도록 충분한 도전율을 가져야 한다.
- ② 접속점은 예상되는 최대지락고장전류가 고장지속 시간동안 흐를 경우에도 용단되거나 열화가 되지 않아야 한다.
- ③ 부식이나 충격에 견딜 수 있도록 기계적으로 충분한 강도를 가져야 한다.

(2) 접지도체의 굵기는 아래 식에 의해 산출한다.

$$A = I_F \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{TCAP \cdot \ln \left\{ 1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right\}}} \text{ [mm}^2\text{]} \dots\dots\dots \text{식 (7)}$$

A : 도체의 단면적[mm²]

I_F : 1선지락 고장전류[kA]

α : 도체전류 분류율[%]

t_c : 고장전류지속시간[s]

α_r : 20℃에서의 저항온도계수

ρ_r : 20℃에서의 도체의 고유저항[μΩ·cm]

$TCAP$: 열용량계수[J/cm³/℃]

T_m : 최대 허용온도[℃]

T_a : 주위온도[℃]

K_0 : 1/α₀

α₀ : 0℃에서의 저항온도계수

- ① 고장전류 지속시간(t_c)

변전소에 적용된 보호계전 방식과 고장위치를 감안하여 1.0초로 적용한다.

- ② 최대 허용온도(T_m)

압축접속 방식은 350℃를 적용한다.

- ③ 도체전류 분류율(α)

접지망으로 유입되는 고장전류는 접지망으로 유입시 접속점에서 연결된 각 도체로 분산되는 계수 α를 50%로 상정하여 접지도체 굵기를 산정할 때 적용한다.

- ④ 접지선의 상수



표 3. 접지도체의 상수

전선 종류	도전율 (%)	α_r 온도계수 (20℃)	K_0 ($1/\alpha_0$) (0℃)	T_m 용단온도 (℃)	ρ_r 고유저항 (20℃) ($\mu\Omega cm$)	열용량계수 $TCAP$ ($J/cm^3/℃$)
연동선	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
경동선	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
동북강선	40.0	0.00378	245	1084	4.397	3.846
동북강선	30.0	0.00378	245	1084	5.862	3.846

- (3) 주접지망 접지도체의 최소 굵기는 기계적 강도와 설치 후 유지보수가 어려운 점을 감안하여 변전소 120mm², 구분소 이하는 70mm² 적용을 원칙으로 한다.
- (4) 접지도체의 간격은 **보폭전압 및 접촉전압이 최대허용전압 이하가 되도록 산정하여야 하며, 전체적인 접지도체의 간격이 너무 조밀하지 않도록 초기 설계시 10m 이상으로 설계를 수행하여 점차적으로 좁혀가며, 외곽(특히 모서리부분)에 도체가 조밀하게 배치될 수 있도록 비등간격으로 설계한다. 접지설계는 적합한 프로그램을 활용하여 시행하여야 하며 결과를 제출하여야 한다.**
- (5) 접지망과 시설물과의 연결
- ① 접지망과 연결할 시설물
- 1) 기기 외함
변압기, 분로리액터, 배전반, 계기용변성기, 차단기, 개폐기, 피뢰기, GIS(CB, DS, ES, HSGS, CT, VT, LA, Bushing 포함) 등 모든 기기의 외함
 - 2) 건물철골, 철구, 금속제 지지물
 - 3) 금속제 전선관, 금속제 수도관, 접지봉 등
 - 4) 케이블 시스 또는 쉘드링
 - 5) 회로나 기기의 접지 중성점
 - 6) 콘크리트 내의 철근
 - 7) 가공지선
 - 8) 피뢰기, 고속접지개폐기(HSGS) 또는 접지개폐기의 접지단자
 - 9) 덕트 내 금속지지물 및 케이블 트레이
- ② 접지망과 시설물을 연결하는 도체의 굵기
- 1) 연결용 접지도체는 충분한 기계적 강도를 가져야 한다.
 - 2) 접지망과 시설물을 연결하는 접지도체의 길이는 최대한 짧게 하여야 한다.
 - 3) 변압기, 분로리액터, GIS, 차단기, 단로기 등 단독 기초 상에 설치된 기기와의 연결용 접지도체는 동일 굵기 2개의 도체로 주접지망의 서로 다른 두 번에 연결한다.

- 4) 변압기, 분로리액터, 및 콘덴서 뱅크 등의 중성점은 2개의 도체로 주접지망의 서로 다른 두 변에 연결한다.
- 5) 피뢰기 접지측 단자 및 가대, 접지용 단로기와 가대, 계기용변성기 2차측의 접지는 동일 굵기 2개의 도체로 주접지망의 서로 다른 두 변에 연결한다.
- 6) 배전반 내 수평접지모선에서는 60mm²의 나연동선을 사용하여 주접지망에 연결한다.
- 7) 철구나 기기 가대는 그 위에 설치된 기기(피뢰기는 제외)의 접지도체로 사용할 수 있으나 아연도금 강철재로서 소요동선 단면적의 7배 이상이어야 한다.

③ 접 속

각 접지 연결선과 접지망 도체 간 또는 접지망 내 도체간의 접속, 접지 연결선의 철구나 기기 가대 측의 접속은 압축식을 원칙으로 하며 필요시 볼트접속을 사용한다. 단, 납땜 접속은 금지한다.

④ 부식에 대한 대책

이중 금속과 접촉하거나 고유 저항률이 다른 토양층을 통과할 때에는 부식이 발생하므로 다음과 같이 대책을 세운다.

- 1) 철구 및 기기기초의 지중에 매설되는 부분은 콘크리트를 시공한다.
- 2) 접지 연결선은 GV전선 또는 PVC전선관에 삽입하여 사용한다.

1.4.5 접지설계의 제계산

1.4.5.1 접지저항

변전소 접지계통 전체의 접지저항은 주로 접지망 포설면적과 대지 고유저항의 크기에 따라 결정되며 아래 식에 의해 산출된다.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots \text{식 (8)}$$

R_g : 변전소 접지저항[Ω]

ρ : 대지 고유저항률[Ω·m]

L : 접지계통의 총 도체길이[m]

A : 접지망 포설면적[m²]

h : 접지망 매설깊이[m]

1.4.5.2 최대예상 보폭전압

접지망 주변의 보폭전압은 아래 식에 의해 계산한다.

$$E_s = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_{step}} [\text{V}] \dots\dots\dots \text{식 (9)}$$



E_s : 최대예상 보폭전압[V]

K_s : 보폭전압 산출을 위한 간격계수

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

D : 주접지망 간격[m]

h : 매설깊이[m]

n : 넓은 쪽의 접지망 구성 도체수

K_i : 전위경도 변화에 대한 교정계수

I_G : 접지전류[A r.m.s]

L_{step} : 매설접지도체의 전장[m]

$$L_{step} = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_r$$

L_c : 주접지망 도체의 총길이[m]

L_r : 접지봉 1개의 길이[m]

1.4.5.3 최대예상 접촉전압

접지망의 최대예상 접촉전압은 아래 식에 의해 계산한다.

$$E_m = K_{10} \cdot \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_{touch}} [V] \dots\dots\dots \text{식 (10)}$$

K_{10} : 도체간격(D)이 10m 이하이면

$$K_{10} = 2.7159 \cdot D^{-0.4416}$$

10m 초과하면 $K_{10} = 1.0$

ρ : 대지고유저항[Ωm]

K_m : 메쉬전압 산출을 위한 간격계수

K_i : 전위경도 변화에 대한 교정계수

I_G : 접지전류[A. rms]

$$L_{touch} = L_c + \left\{ 1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) L_R \right\}$$

L_c : 메쉬도체의 총 길이[m]

L_r : 접지봉 1개의 길이[m]

L_R : 접지봉의 총길이[m]

L_x : 주접지망의 X축방향 최대길이[m]

L_y : 주접지망의 Y축방향 최대길이[m]

이 때 사용되는 메쉬전압 산출을 위한 간격계수 K_m 의 식은 아래와 같다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots\dots\dots \text{식 (11)}$$

h_0 : 1[m](접지망의 기준 매설깊이)

K_{ii} : 외곽도체에 대한 내부도체의 보정계수

$K_{ii} = 1$ (접지망 외곽 또는 전체에 접지봉을 타설할 경우)

$$K_{ii} = \frac{1}{\frac{2}{(2n)^n}} \text{(상기 이외의 경우)}$$

K_h : 매설깊이에 따른 보정계수

$$(K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}})$$

D : 도체 간격[m]

h : 매설깊이[m]

n : 접지망 형상에 따라 $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$ 의 곱으로 계산되는 계수

(n 은 4.5.4항 참조)

d : 도체의 직경[m]

1.4.5.4 전위경도 변화에 대한 교정계수(K_i)

(1) 앞에서의 보폭전압, 접촉전압 계산식은 대지의 고유 저항률이 균일하고 도체간격이 일정하며, 접지망을 통해 흐르는 전류밀도가 균일하다는 가정 하에 유도되었으나, 실제 도체의 전류밀도(접지도체 단위길이 당 누설전류)는 불균일하여 접지망의 가장자리, 특히 모서리부분이 중심부보다 높다. 따라서 이것을 보정키 위하여 평균전류밀도(I_G/L)에 교정계수(K_i)를 곱하여 적용한다.

(2) 보폭전압과 접촉전압에서 사용되고 있는 계수 K_i 는 접지망 각 부분의 지락전류의 불평등한 분포에 기인한 전위경도변화에 대한 교정계수로서 접지망 형성계수 n 에 대한 일차함수로 표시되며 K_i 의 계산식은 정방형 이외에 직사각형, L형태 또는 T형태의 접지망에도 적용할 수 있는 식 (13)에 의하여 계산한다.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \dots\dots\dots \text{식 (12)}$$

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \dots\dots\dots \text{식 (13)}$$

n_1 : 공통계수($2 \cdot L_c/L_p$)

n_2 : 정방형 접지망일 때 1, 그 외의 경우 ($\sqrt{L_p/4\sqrt{A}}$)

n_3 : 정방형 또는 직사각형 접지망일 때 1,

그 외의 경우 ($[L_x L_y / A]^{0.7A/L_x L_y}$)

n_4 : 정방형, 직사각형, 또는 L형태 접지망일 때 1,



그 외의 경우 ($D_m / \sqrt{L_x^2 + L_y^2}$)

A : 접지망의 총면적

L_c : 도체의 총길이

L_p : 접지망의 외곽길이

L_x : 접지망의 X축 방향 최대길이

L_y : 접지망의 Y축 방향 최대길이

D_m : 접지망의 대각선 최대길이(T형태 접지망의 경우)

1.4.5.5 지속성 지락전류의 영향

- (1) 고장전류에 대한 허용전압은 일정한 전류값과 고장지속시간 이내에서 적용할 수 있는 것이나 보호계전기 정정값 이하의 고장전류는 상당시간 지속할 수 있으므로 이 전류에 대하여 검토할 필요가 있다.
- (2) 일반적으로 인체에 9mA 이상의 전류가 수 분간 지속하면 고통을 느끼며 근육에 통제가 곤란해진다고 한다. 즉,

$$K_m \cdot K_i \cdot \rho \cdot \frac{I}{L} < (1,000 + 1.5\rho_s) \cdot \frac{9}{1,000} \dots\dots\dots \text{식 (14)}$$

$$I < \frac{(1,000 + 1.5\rho_s)L}{K_m K_i \rho} \cdot \frac{9}{1,000}$$

- (3) 이상의 전류는 보호계전기가 감지하는가를 확인하고, 만일 이것이 되지 않으면 접지 도체의 전체 길이를 증가시켜야 한다.

1.4.6 구내시설물 접지 및 특히 위험한 곳의 조사

1.4.6.1 통신회로

통신선에 대한 보안설비는 별도의 규정에 따르며 다만 지락고장시 구내 통신선의 설비보호 대책으로 통신선의 절연내력은 최대 접지전위 상승값을 견딜 수 있는 케이블을 사용하여야 한다. 단, 광케이블을 사용할 경우는 이에 따르지 아니하여도 된다.

1.4.6.2 변전소 구내 시설물

변전소의 모든 접지는 특수한 경우를 제외하고 주접지망에 직접 연결시켜 공동 접지함을 원칙으로 한다.

1.4.6.3 지중에 매설된 수도관

변전소 구내에 매설된 금속제 수도관 등은 수 개소에서 접지망에 연결한다.

1.4.6.4 변전소의 울타리

- (1) 변전소의 울타리가 변전소 접지망에 근접해 있을 때는 변전소 접지망을 울타리 밖으로 0.5~1m까지 확장하고 약 15~18m 간격으로 울타리를 접지망에 연결한다. 다만 지형 또는 주위조건에 따라 울타리 외부로부터 접근 위험성이 없을 경우에 울타리를 접지망 외부에 둘 수 있다.
- (2) 변전소 울타리와 변전소 접지망 주변 도체와의 최단거리가 5m 이상이면 울타리의 접지는 별도로 독립시킨다. 지형 또는 주위의 조건에 따라서 울타리 밖이나 안으로 0.5~1m 거리에서 접지봉을 15~18m 간격으로 설치하고 접지봉간 및 울타리를 접지도체로 연결한다.
- (3) 접지봉은 주접지망용과 같은 것을 사용한다. 접지봉간을 연결한 접지도체는 단독접지의 경우는 주접지망 도체의 전류용량의 2분의 1에 해당하는 것을 사용한다.
- (4) 울타리 접지시 전기설비기준을 준수해야 한다.

1.4.7 초기설계 수정

초기설계에 따라서 접지저항, 접촉전압 등을 계산한 결과 허용치를 초과하여 위험전압이 예상되면 다음과 같은 방법으로 접지설계를 수정하며, 필요시 관련 접지설계프로그램과 병행하여 검토한다.

1.4.7.1 접지저항 및 위험전압의 감소

아래의 순서에 의거하여 저감대책을 검토한다.

- (1) 접지망의 총 도체길이를 도체 간격을 조정하여 증가시키거나 접지면적을 증가시킨다.
- (2) 접지면적이 한정되어 있고 접지망의 도체간격이 3m 이하가 되면 접지도체(동봉)의 수를 단계적으로 추가한다.



- (3) 접지도체(동봉)의 수를 단계적으로 추가하여도 안전전압을 만족하지 못하면 접지저감재의 사용을 고려할 수 있으며, 보링 접지전극도 추가할 수 있다.
- (4) 지표면위의 자갈층의 두께를 증가시키거나 자갈보다 절연성능이 우수한 아스팔트나 투수콘 등으로 대체하여 위험전압을 저감시킬 수 있다.

1.4.7.2 전위경도의 조정

접지망의 도체간격을 좁히거나 접지도체(동봉)을 추가하면 국부적으로 전위경도가 감소된다.

1.4.7.3 지락전류의 제한

접지망에 흐르는 지락전류를 작은 값으로 제한한다. 그러나 이 방법은 일반적으로 곤란할 때가 많다.

1.4.7.4 접근금지

만일 여하한 방법으로도 위험전압을 억제할 수 없으면 그 지역에 접근을 금지시킨다.

1.4.8 최종적으로 수정된 설계(안)에 대하여 관련 접지설계프로그램을 사용하여 검토한다.

1.4.9 현지측정

1.4.9.1 접지저항

접지망 포설이 끝나면 접지저항을 측정한다. 측정된 접지저항의 크기가 위험전압을 만족하는 설계서의 접지저항 값 보다 작으면 공사를 완료하고, 그렇지 않으면 보강공사를 하여야 한다.

1.4.9.2 위험전압

지락고장시 보폭전압이나 접촉전압이 얼마나 발생하는가는 실측에 의한 방법이 가장 정확하므로 대표적인 한 두 개소를 실측해 보는 것이 좋다.

1.4.10 실측값에 의한 재검토

접지저항 실측치가 설계당시의 계산값과 큰 차이가 발생하면 그 원인을 조사하고 대지 저항률의 재측정, 안전계수의 증가, 위험전압의 실측 등을 수행하여 필요한 수정을 한다.

본 기준은 전철변전소의 시설물 및 인체보호를 위한 접지설계에 적용한다.

해설 1. 접지설계

1. 적용범위

- 1.1 이 해설서는 변전소의 접지설계에 적용한다.
- 1.2 이 해설서를 적용하기 곤란한 경우 또는 별도의 검토 방법이 필요하다고 판단되는 경우에는 본 해설서에 의하지 아니할 수 있다.

2. 일반사항

- 2.1 지락고장시 고장전류가 대지 속으로 흘러 들어가면 변전소의 구내 및 주변에 전위차가 발생하여 접지설계시 이에 대한 적절한 대책을 세우지 않으면 지락고장시 지표면에 발생하는 전위경도가 인체에 위험을 초래하게 된다.
- 2.2 접지한 철구, 기기의 외함 또는 지지물과 부근 대지 위의 인체간의 위험한 전위차가 발생할 수 있다. 이와 같은 위험전위는 접지망의 구조, 접지지점 토양의 성분 및 균질성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등 관계되는 요소가 많다.
- 2.3 접지설계는 특성이 복잡한 장소의존성이 있으므로 모든 변전소에 허용되는 동일한 접지설계는 불가능하여 실험연구 결과에서 얻은 많은 자료에 따라 각 요소를 검토함으로써 실용적으로 안전한 접지설계가 가능하다.
- 2.4 접지망 전체의 접지저항을 감소시키면 최대전위상승도 감소하지만 낮은 접지저항 값만으로 인체의 안전이 보장되지는 못하므로 접지된 시설물은 접촉하여도 안전하다고 생각해서는 안 된다. 지락고장시 발생할 수 있는 위험전압을 반드시 고려하여야 한다.

3. 접지설계 기본사항

3.1 인체 허용전류

전류가 인체에 미치는 영향은 주파수, 크기, 지속시간 및 통로에 관계된다.

3.1.1 주파수

상용주파수(60Hz)에 대하여만 고려한다. 일반적으로 사람은 25Hz에서 더 큰 전류에도 견딜 수 있고 직류에서는 상용주파수 교류전류크기의 5배까지 견딜 수 있다. 또한 충격전류는 수백 암페어까지 견딜 수 있다.

3.1.2 크기 및 통전시간

사람은 일반적으로 1mA정도의 전류가 흐르면 감전을 느끼기 시작하여 9~25mA가 흐르면 상당한 고통을 느끼고 손에 잡은 물체를 놓기 곤란하거나 놓을 수 없을 정도로 근육계통의 장애를 초래한다. 보다 큰 전류가 흐르면 근육수축으로 호흡이 곤란해진다. 근육수축이 심하여 호흡이 수 분간 정지하지 않는 한 그 영향은 전류만 차단되면 곧 없어진다. 이 보다 큰 전류가 흐르면 심실세동(Ventricular Fibrillation),



즉 심장멈춤(Stoppage of the heart)으로 죽음을 초래한다. 실험 결과에 의하면 심실 세동을 일으키지 않고 사람이 견딜 수 있는 전류를 한계로 하며, 지속시간 3초 이내 일 때 다음 식에 의하여 결정된다.

$$I_K = \frac{k}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots \text{식 (15)}$$

I_K : 인체 허용전류[A r.m.s]

t : 인체 감전시간[s]

k : 계수 (50kg 체중인 경우 0.116, 70kg 체중인 경우 0.157)

즉, 사람은 감전시간이 짧으면 보다 큰 전류에 견딜 수 있으므로 고속도차단이 안전측면에서 중요하다. 식 (15)은 3초간 실험결과로 얻은 식으로 그 이상의 장시간에 대하여는 적용할 수 없고, 지속시간이 수분 또는 그 이상일 때는 9mA를 적용한다.

3.2 위험전압의 정의

그림 3은 지락고장시에 발생할 수 있는 위험전압의 기본개념을 나타내고 있다.

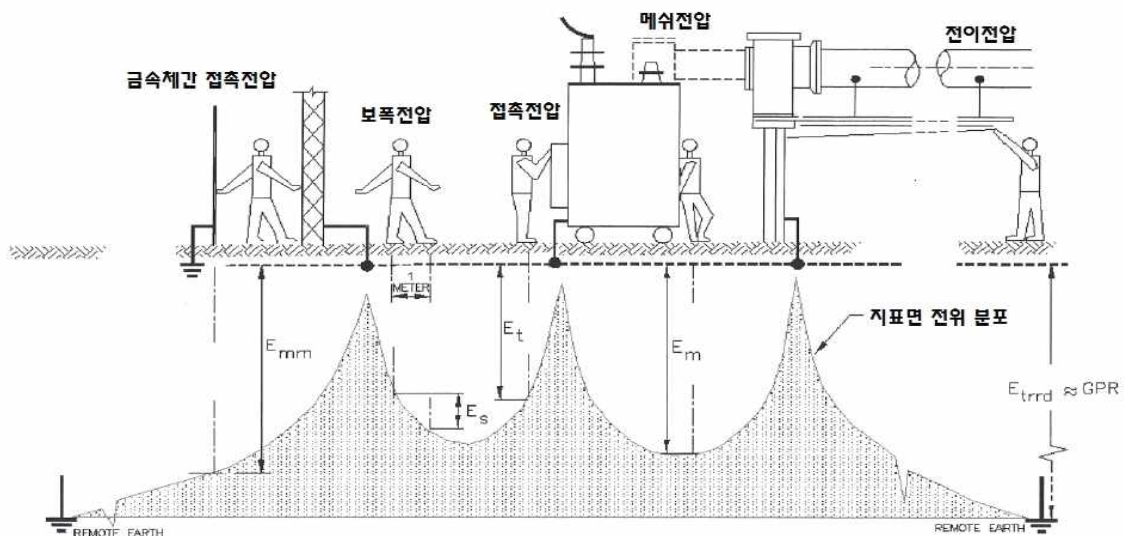


그림 3. 위험전압의 기본개념도

(1) 대지전위상승(Ground Potential Rise, GPR)

접지전극에 고장전류 및 낙뢰 전류가 흐를 경우에 접지전극의 표면에 나타나는 전압으로서, 고장 및 낙뢰 전류의 크기에 접지전극의 저항을 곱한 값으로 나타낸다.

(2) 대지 표면전위상승(Ground Surface Potential Rise, GSPR)

접지전극으로 고장전류 또는 낙뢰 전류가 흐르는 경우에 접지전극과 그 주변의 대지 표면에 전위상승이 나타나며, 이 전위상승과 무한거리의 전위 기준점에 대한 전위차로 표현된다.

(3) 접촉전압(Touch Voltage)

접지한 전력기기 또는 구조물을 접촉한 경우에 접촉한 전력기기 또는 구조물의 전위

(대지전위상승)과 접촉한 인체나 동물이 위치한 지점의 대지 지표면전위와의 전위차를 접촉전압이라고 정의한다.

(4) 보폭전압(Step Voltage)

접지전극으로 고장전류 또는 낙뢰 전류가 흐를 경우에 접지전극과 그 주변의 대지 표면에 나타나는 대지 표면전위상승에 의하여 인체나 동물이 위치한 두 다리사이의 전위차를 보폭전압이라고 정의한다. 일반적으로 1[m] 거리의 전위차로 나타낸다.

(5) 메쉬전압(Mesh Voltage)

메쉬(그리드) 접지전극에서 나타나는 접촉전압 중에서 가장 큰 값의 접촉전압을 메쉬전압이라고 정의한다.

(6) 전이전압(Transferred Voltage)

구내 접지망과 구외의 통신선, 저압중성선, 수도관, 파이프, 레일, 철제울타리 등과의 전위차로 발생하는 전압이다. 전이 전압은 변전소내의 GPR과 같거나 보다 큰 전위를 갖기도 하며 실제로 구외의 설비에 유도된 전압이 전이전압으로 작용하기에 전이전압은 해당변전소와 전원단변전소의 GPR의 합보다 큰 경우가 있다.

※ 옥내변전소의 위험전압

작업자가 대지나 자갈층을 직접 접촉하지 않고 바닥이 절연재질로 되어 있는 옥내변전소에서는 건물 내 접촉 및 보폭전압 노출의 위험성은 없는 것으로 간주한다.

3.3 인체의 안전

인체에 전압이 인가되면 전류가 흐르게 되고, 이 전류의 크기는 흐르는 경로에 따라 구성되는 전기저항에 의하여 결정된다. 인체에 흐르는 전류의 크기에 따라 인체의 반응이 다르게 나타나며, 인체의 위험에 영향을 미치는 파라미터에는 전류의 크기, 경로, 전압의 종류 및 감전 지속시간 등의 여러 가지 인자가 있다.

3.3.1 인체의 저항

직류와 50 또는 60[Hz] 교류가 흐르는 경우에 인체를 저항만이 있는 전기회로로 가정할 수 있으며, 이 때 인체의 저항(R_B)은 손과 발 사이, 손과 손 사이 또는 발과 발 사이의 값으로서 1,000[Ω]으로 한다.

3.3.2 인체의 허용전류 한계값

일반적으로 인체에 전류가 흐르면, 흐르는 전류의 크기에 따라 인체의 반응이 다르게 나타나며 전류의 크기가 크고, 감전 지속시간이 길어지면 심실 세동(Ventricular Fibrillation)이 발생하여 사망에 이르게 된다. 따라서 이러한 심실 세동이 발생하기 시작하는 인체의 통과전류 값이 허용전류의 한계값이 되는 것이다. Dalziel 등의 실험 결과에 의하면 인체의 허용전류 한계값 I_B [A]는 감전 지속시간과 인체의 체중을 고려하여 식 (16)과 같이 표현된다.



$$I_B = \frac{k_w}{\sqrt{t_s}} \dots\dots\dots \text{식 (16)}$$

여기서, k_w : 인체의 체중에 따라 결정되는 상수

t_s : 감전 지속시간[Sec]

식 (16)은 감전 지속시간이 0.03~3.0[Sec] 범위에서 실험한 결과로부터 얻어진 것으로서 이 시간 범위 안에서만 적용하여야 한다.

Dalziel 등에 의한 실험 결과로부터 인체의 체중에 따라 결정되는 상수 k_w 를 구하면 체중이 50[kg]인 경우에 0.116, 체중이 70[kg]인 경우에 0.157이 된다. 일반적으로 k_w 는 체중이 70[kg]인 경우를 가정하여 0.157의 값을 적용한다.

3.3.3 사고에 의한 등가회로

(1) 접촉전압

그림 4와 같이 접지되어 있는 구조물에서 고장전류가 발생한 경우에 인체가 접촉하면 그림 5와 같은 등가회로로 표현할 수 있으며, 인체에 흐르는 전류는 식 (17)과 같다.

$$I_b = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B} \dots\dots\dots \text{식 (17)}$$

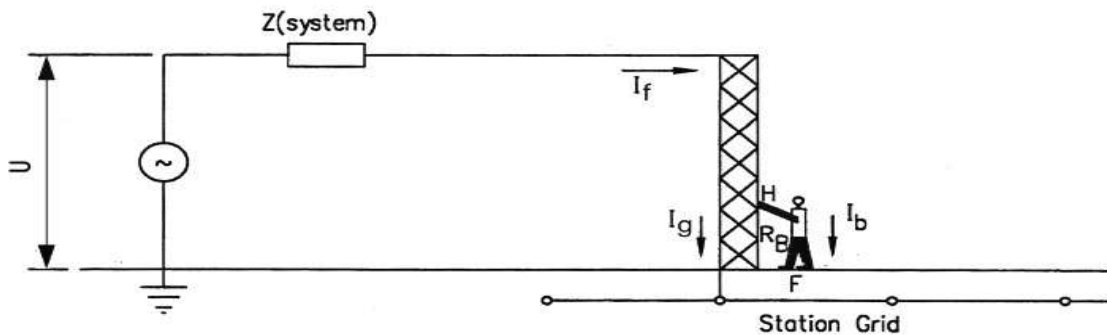


그림 4. 접촉전압 발생 상황

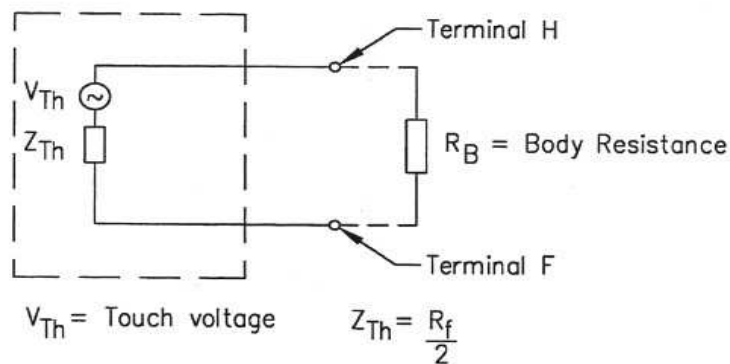


그림 5. 접촉전압의 등가회로

(2) 보폭전압

그림 6과 같이 접지되어 있는 구조물에서 고장전류가 발생하여 대지로 고장전류가 흐르면 대지표면에 전위상승이 나타나고, 이 경우에 인체가 구조물의 주변에 위치하고 있다면 그림 7과 같은 등가회로로 표현할 수 있으며, 이 때 인체에 흐르는 전류도 식 (17)과 같이 표현된다.

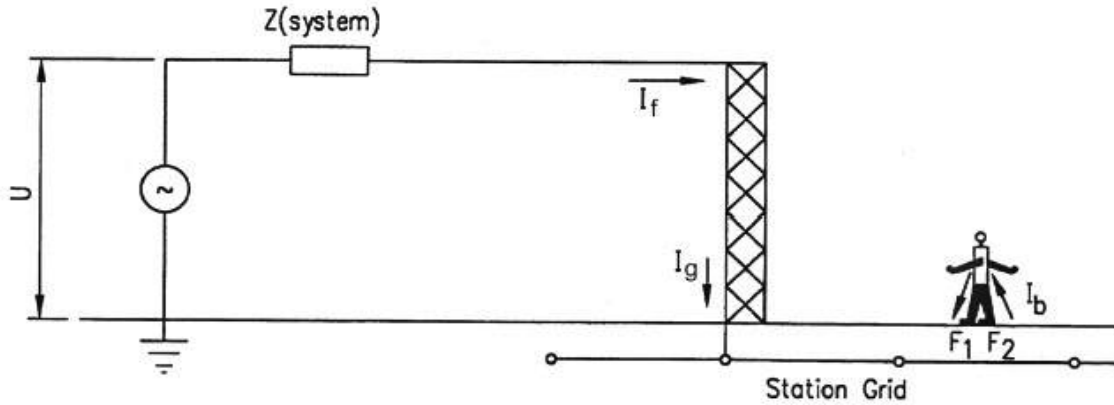


그림 6. 보폭전압 발생 상황

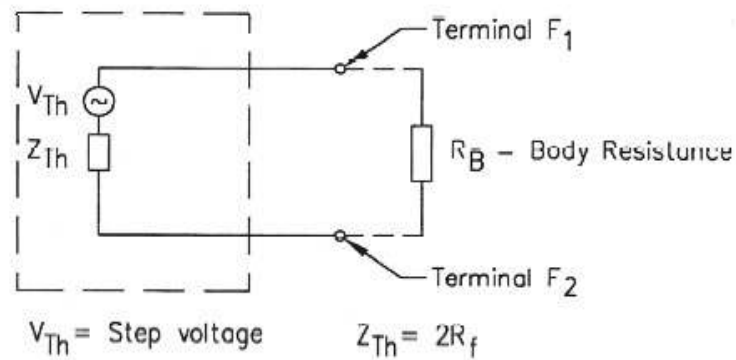


그림 7. 보폭전압의 등가회로

3.3.4 등가회로를 고려한 허용전압

접촉전압과 보폭전압의 등가회로에서 각각의 등가임피던스 Z_{th} 는 인체가 위치하고 있는 지점의 대지저항률(단일지층) ρ [Ω -m]와 신발의 저항 R_f 를 고려하면, 식 (18)와 (19)으로 각각 표현된다.

$$Z_{Th(touch)} = 1.5 \rho \dots\dots\dots \text{식 (18)}$$

$$Z_{Th(step)} = 6.0 \rho \dots\dots\dots \text{식 (19)}$$

식 (18)와 (19)을 이용하여 접촉전압과 보폭전압의 한계값을 구하면 식 (20)과 (21)로 각각 표현된다.

$$E_{touch} = I_B (R_B + 1.5 \rho) \dots\dots\dots \text{식 (20)}$$

$$E_{step} = I_B (R_B + 6.0 \rho) \dots\dots\dots \text{식 (21)}$$



3.3.5 표토 층 재료의 영향

인체가 위치한 지점의 대지 저항률을 단일지층으로 가정한 결과식이 식 (20)과 (21)이다. 그런데, 인체가 위치하는 지점의 넓은 면적을 자갈이나 아스팔트와 같이 저항률이 높은 재료를 0.08~0.15[m]의 층으로 덮는 경우에는 신발과 대지와의 접촉저항이 증가한다. 따라서 접촉전압과 보폭전압의 증가회로에서 저항률이 높은 재료를 덮는 경우에 접촉전압과 보폭전압의 최대 허용전압 한계값은 식 (22)과 (23)로 표현된다.

$$E_{touch\ 50\ \text{또는}\ 70} = I_B(R_B + 1.5 C_s \rho) \quad \dots\dots\dots \text{식 (22)}$$

$$= (R_B + 1.5 C_s \rho) \frac{k_w}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{step\ 50\ \text{또는}\ 70} = I_B(R_B + 6.0 C_s \rho) \quad \dots\dots\dots \text{식 (23)}$$

$$= (R_B + 6.0 C_s \rho) \frac{k_w}{\sqrt{t_s}}$$

여기서, C_s : 표토 층 재료와 두께에 따른 감쇄계수

감쇄계수 C_s 는 표토 층의 재료와 두께에 의하여 결정할 수 있으며, 지층의 대지 저항률(ρ)과 표토 층 재료의 저항률(ρ_s)와의 특성인 반사계수(K)에 따라서도 다른 값을 나타낸다. 이러한 관계를 보인 것이 그림 8이며, 반사계수(K)는 식 (24)와 같다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \dots\dots\dots \text{식 (24)}$$

여기서, ρ_s : 대지표면(표토 층)의 저항률[Ω-m]

감쇄계수 C_s 를 식 (25)과 같이 해석식으로 구할 수 있다.

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left\{ 1 - 0.106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 0.106} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots \text{식 (25)}$$

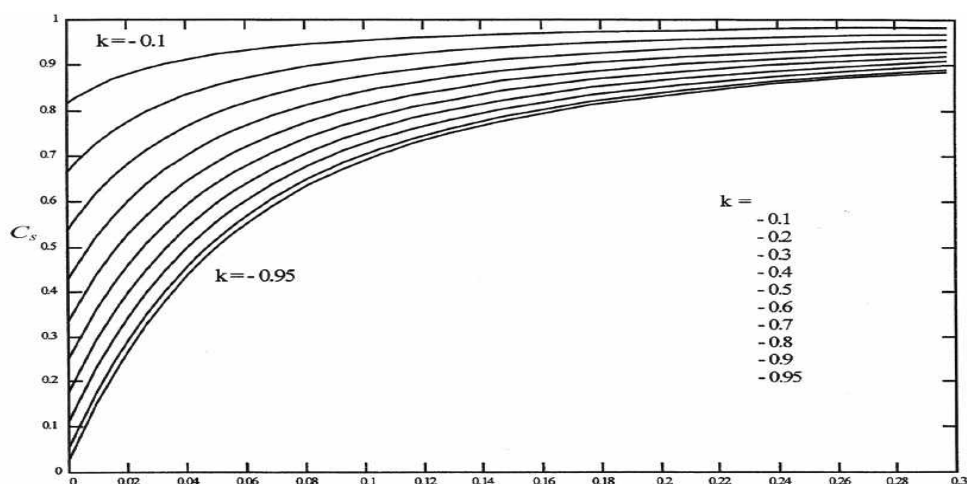


그림 8. 표토 층의 두께와 감쇄계수의 관계

4. 접지 설계

4.1 접지설계 절차

허용 보폭전압 및 접촉전압한계를 결정한 후 아래 순서로 설계 한다.

- (1) 토양의 특성조사
- (2) 접지선 매설깊이 산정
- (3) 도체의 굵기 결정
- (4) 최대 허용 접촉/보폭전압 계산
- (5) 접지망의 초기설계
- (6) 접지망의 접지저항 계산
- (7) 접지전류의 산정
- (8) 접지망의 최대전위상승 계산 및 최대 허용 접촉전압 안전성 평가
- (9) 접지망 주변의 보폭전압 계산
- (10) 접지망내의 보폭전압, 접촉전압 계산 및 최대 허용 접촉전압/보폭전압의 안전성 평가
- (11) 전이전압과 특히 위험한 곳의 조사
- (12) (6), (7), (8), (9), (10) 및 (11) 항에 의한 초기설계의 수정(도체 간격, 동봉 추가 등)
- (13) 안전성 평가 만족시 설계용 프로그램을 활용한 상세 설계 계산
- (14) 접지망 시공
- (15) 시공완료 후의 접지망의 접지저항 측정과 가능하면 보폭전압 및 접촉전압 측정
- (16) 실측치에 의한 (6), (7), (8), (9), (10) 및 (11) 항의 재검토
- (17) (16) 항의 검토 결과에 따라서 필요하다면 접지망의 변경

4.2 접지 형태

변전소 접지는 다음과 같은 이유로 메쉬(망)접지를 원칙으로 한다.

- (1) 지락고장전류가 큰 계통에서는 접지망의 전위상승(최대지락전류×접지저항)이 인체에 위험하지 않을 만큼 접지저항을 낮게 한다는 것은 불가능하다. 그러므로 사람에 대한 위험은 국부적 전위 조정으로서만 방지할 수 있으며 접지망(ground grid)은 이런 목적에 가장 적합한 방법이다.
- (2) 규모와 대소에 관계없이 한 변전소의 접지망은 보통 사용하는 단일접지 전극만으로는 필요한 도전율과 전류용량을 얻을 수 없다.

4.3 토양의 특성조사

변전소 접지망 설계에 있어 그 장소의 토양의 특성은 가장 중요한 요소 중 하나이다. 토양의 고유저항(대지 저항률)은 그 성분(Composition), 균질성(Homogeneity), 온도 및 습기 함유량에 따라 광범위하게 변화한다. 토양의 고유저항은 온도가 0℃ 이하로



저하되면 급격히 증가하며, 습기함유량이 15%(중량 대비) 이하로 떨어져도 급격히 증대한다. 따라서 접지도체는 동절기에도 얼지 않는 깊이에 매설할 필요가 있으며, 지표면에는 자갈을 깔거나 절연 특성이 우수한 재료를 포설하여 토양의 습기를 보존하여야 한다. 또한 이 자갈 등은 인체와 대지간의 저항을 증대시키는 역할을 한다.

토양의 대지 저항률은 부속서 I에 따라 측정한 실측값을 적용해야 하며 실측값의 조건이 유리한 것이었으면 그 곳에서 예상된 가장 불리한 조건하(대지 저항률이 큰 값)의 값으로 교정해야 한다.

4.4 접지전류의 산정

4.4.1 최대지락고장전류의 산정

예상되는 최대지락고장전류를 계산하여 접지도체 및 지표면의 전위상승과 전위경도에 관계되는 부분, 즉 접지망과 주위 대지 간에 흐르는 부분의 전류치를 결정한다. 예상되는 최대지락고장전류 I_F 는 일반적으로 다음 식에 의해서 계산하거나 장기계통계획에 의한 해당 변전소의 1선지락 고장전류를 활용하고 일반적으로 계통의 최악 조건인 차단기 정격차단전류로 한다.

$$I_F = \frac{3E}{X_1 + X_2 + X_0} [A] \dots\dots\dots \text{식 (26)}$$

E : 상전압[V]

X_1 : 정상 리액턴스[Ω]

X_2 : 역상 리액턴스[Ω]

X_0 : 영상 리액턴스[Ω]

4.4.2 지락전류 분류계수(β)

1선지락 고장으로 발생한 고장전류가 접지망으로 유입된 후 고장전류의 일정부분만 변전소 접지망을 통하여 대지로 방출되고 나머지는 여러 가지 경로를 통하여 전원단으로 귀환한다. 그림 9는 중성점접지계통의 변전소에 2차접지 변압기의 저압단자측에 지락사고가 발생했을 때 고장전류가 접지망을 형성하는 금속도체에만 순환하므로, 대지를 통하는 부분은 거의 없다. 따라서 변전소 GPR에 영향이 없다.

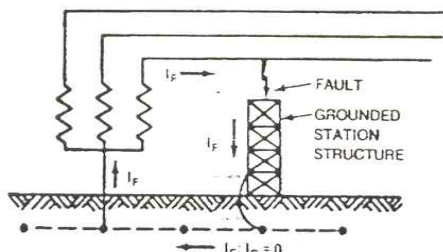


그림 9. 접지변전소의 지락사고

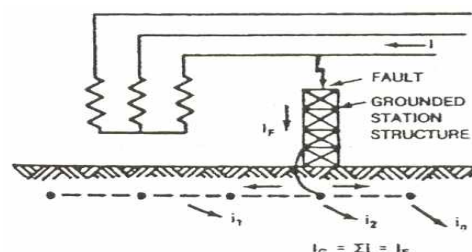


그림 10. 비접지변전소의 지락사고

그림 10은 중성점 비접지계통 변전소에 지락사고가 발생했을 때(중성점 접지 변압기는 타 변전소에 있음) 고장전류 대부분은 접지망을 통하여 귀로하므로 GPR에 기여한다.

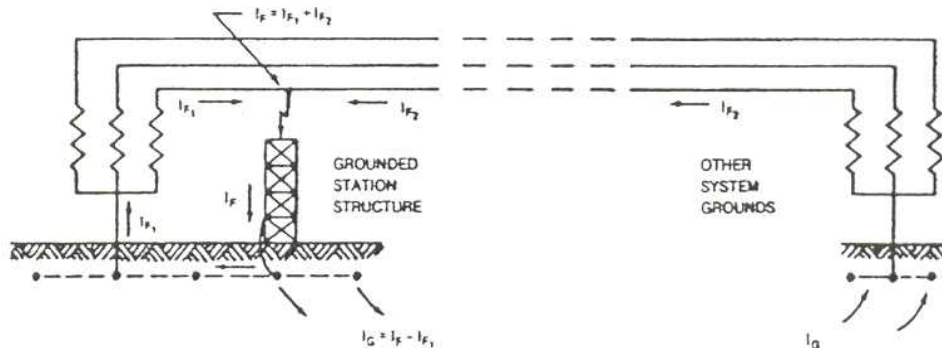


그림 11. 다중 접지된 계통에서의 지락사고

그림 11은 다른 변전소에도 중성점접지가 된 계통의 변전소에 지락사고가 발생하였을 때 GPR은 $I_G = I_F - I_{F1}$ 으로 고장전류가 분류되어 흐름을 나타낸다. 분류계수(β)는 1선지락 고장전류 중에서 접지망을 통하여 대지로 방출되는 전류의 크기를 나타내는 계수로 접지설계에서 위험전압 검토시 사용되는 중요한 변수이다.

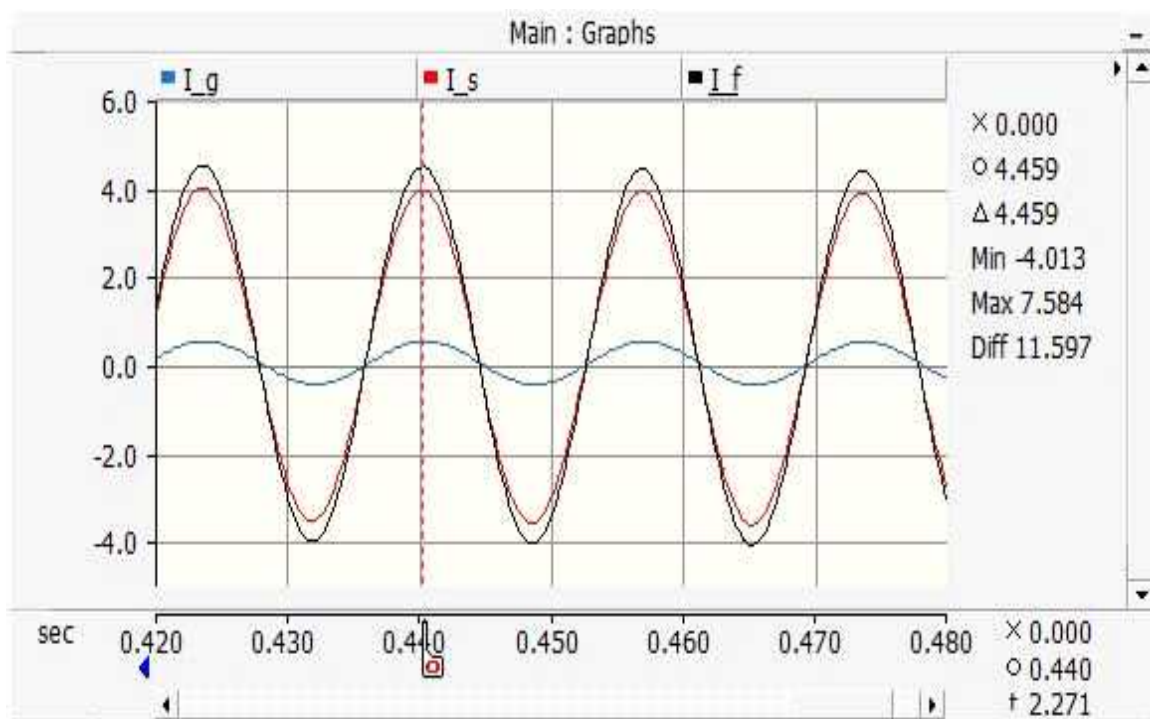
- (1) 한전변전소의 경우 변전소에 연결되는 선로의 수에 따라 지락전류의 표준 분류계수를 정하여 사용하고 있으며, 아래 표1에서 보여주는 바와 같이 변전소에 연결되는 선로수에 따라 구분하고 있으며, 지중케이블의 경우 10%를 적용할 수 있도록 하고 있다.

지락전류의 분류계수

선로수 접지저항	2개 이하	3~5개	6개 이상
3Ω 미만	20%	15%	10%
3Ω 이상	17%	12%	10%

단, 변전소 인입, 인출이 지중케이블로만 구성되어 케이블 시스가 접지망에 연결된 경우 지락전류 분류계수(β)는 10%로 적용할 수 있다.

- (2) 철도변전소의 분류계수는 전철전원계통의 정확한 해석을 통하여 결정되어야 하나, 국내·외 적용사례를 참고하여 지락고장전류의 20~40% 정도를 적용하는 것으로 하며, 지중케이블로 케이블 시스가 접지망에 연결된 경우는 20%를 우선적으로 적용한다. 향후 정확한 지락전류 분류계수 산정은 변전소, 구분소, 보조급전구분소 등에 대한 실측 시험을 통해 정립할 필요가 있다.



<편단구간(병행지선 설치)에서 전류분포>

4.5 접지도체와 연결선의 접속방법

접지도체의 접속은 구조물과 접지도체와의 전기적인 연속성을 확보하기 위한 것으로서, 구조물과 접지도체 사이에 전기적인 전위가 발생하는 것을 예방할 수 있어야 한다.

접지도체의 접속방법에는 금속사이의 납땜 접속, 황동용접 접속, 금속용접 접속, 볼트(압착단자)접속, 발열접속 및 압착 슬리브 접속 등이 있다. 일반적으로 구조물과 접지도체의 연결이나 접속에는 발열접속, 압착 슬리브 접속이나 볼트접속 등이 가장 많이 사용되고 있으나, 전기적인 연속성 및 기계적인 강도를 확보하기 위하여 접지도체 사이의 접속은 압착 슬리브 접속방법을 사용하고, 접지대상 설비와 접지도체 사이의 접속은 볼트(압착단자)접속 방식을 사용하여야 한다.

부속서 1. 대지 저항률의 측정방법

1. 측정의 개요

접지전극이 설치될 대지의 전기적인 특성이 매우 다양하고 복잡하여 대지의 저항률을 결정하기 위하여 많은 측정 방법과 측정 기술이 검토되어 왔다. 이러한 대지 저항률의 측정 방법은 지표면에 직선으로 4개의 전극을 배치하고, 한 쌍의 전극을 통해서 대지로 전류를 주입하고 다른 한 쌍의 전극사이에서 대지의 전위차를 측정하여 저항 값으로부터 대지의 구조를 해석하는 방법이다. 전기설비에 대한 접지 시스템의 설계를 위한 대지 저항률의 측정을 위해 가장 널리 사용되는 4전극 배치법은 크게 Wenner법, Schlumberger법 및 Dipole-dipole법 등으로 분류된다. 이와 같은 4전극 배치법이 정확도가 우수하고 측정도 간편하므로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 대지 구조가 복잡한 경우 대지 저항률의 측정은 간단하지 않으며, 특히 측정용 전극의 매설 깊이에 따라 대지 저항률의 변동이 크다. 철도변전소의 접지설계를 위한 대지 저항률의 측정은 Wenner의 4전극법을 추천한다.

2. 측정 방법

2.1 Wenner의 4전극 배치법

대부분의 대지저항률 측정 기술은 F. Wenner가 처음으로 제안한 등간격의 4 전극 배치법을 변형시킨 기술로서, Wenner의 4 전극 배치법 배열은 그림 12에 보인 바와 같이 측정 부지 내에 선정된 측정선의 일직선상에서 안쪽에 전위 보조전극(P_1 과 P_2), 바깥쪽에 전류 보조전극(C_1 과 C_2)를 설치하고, C_1 과 P_1 , P_1 과 P_2 , P_2 와 C_2 의 거리가 각각 a 인 등 간격이 되도록 배치한다. 외부의 전류 보조전극(C_1 과 C_2)에서 전류 I 를 주입시키고, 내부의 전위 보조전극(P_1 과 P_2) 사이의 전위차 V 를 측정하여 대지의 저항 $R = V / I [\Omega]$ 을 구한다. 이 대지저항 R 은 측정용 접지전극의 매설깊이 d 가 전극간 거리에 비해서 대단히 적은 경우 즉, $d \ll a$ 의 조건이면 전극간격 a 일 때의 겉보기 대지 저항률 ρ_a 와 비례하는데 이를 수식으로 표현하면 식 (27)과 같다.

$$\rho_a = \alpha \frac{V}{I} = \alpha R \dots\dots\dots \text{식 (27)}$$

여기서, α 는 전극의 배치에 따른 기하학적 계수로서 Wenner의 4전극 배치법인 경우에 $\alpha = 2\pi a$ 으로서, Wenner의 4전극 배치법은 전극간격 a 를 변화시키면서 여러 번 반복하여 측정을 한다. 따라서 Wenner의 4 전극 배치법을 적용하는 경우에는 $a \geq 10d$ 인 조건으로 대지 저항률을 측정하는 것이 바람직하다.

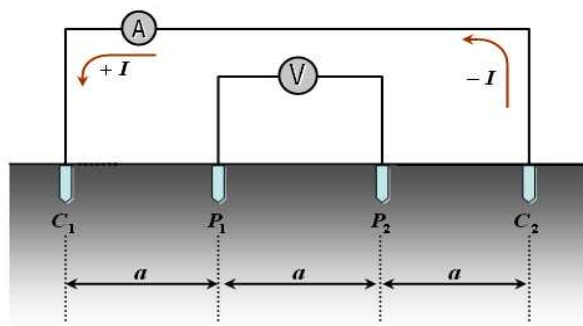


그림 12. Wenner 4전극 배치법의 전극 배치

전극간격 a 를 크게 함으로써 좀 더 깊은 부분까지 측정용 전류가 침투하는 깊이의 대지 저항률의 평균값을 측정할 수 있게 된다(그림 13). 지중에 수도관이나 가스관 등과 같은 금속 물체가 매설되어 있으면 측정용 전류가 이들 금속 도체를 통하여 흐를 수도 있으므로 대지 저항률 측정의 오차를 발생시킬 수도 있다. 따라서 4전극 배치법을 이용하여 대지 저항률의 정확한 측정을 위해서는 4전극의 배열 방향과 간격을 변화시키면서 여러 번 반복 측정하여 평균값을 취하는 것이 바람직하다.

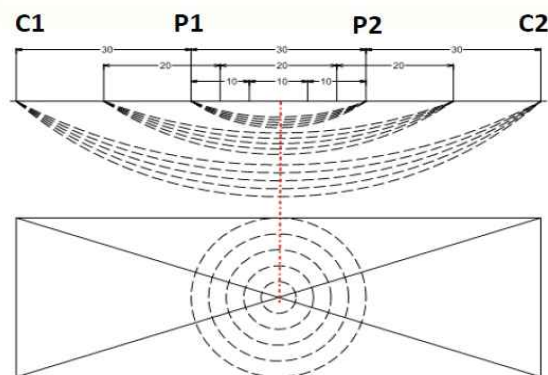


그림 13. 전극 간격 a 와 전류 침투 깊이의 관계

2.2 간이측정법

4전극 배치법의 측정을 위해서는 넓은 면적의 공간이 필요하지만, 장소가 협소하여 4전극 배치법에 의하여 측정할 수 없는 경우에 봉형 접지전극을 이용하여 측정하는 방법이다. 접지저항이 접지전극 주변의 대지 저항률에 비례하는 관계를 이용하는 방법으로서 봉형 접지전극의 길이와 반지름을 알고 있는 봉형 접지전극을 수직으로 타설하고, 이 접지전극의 접지저항을 측정하여 그 값으로부터 대지 저항률을 이론적으로 산출하는 방법이다. 즉, 봉형 접지전극의 접지저항을 측정하면 그 값으로부터 대지 저항률을 역으로 산출할 수 있다. 그림 14와 같이 대지의 표면에 봉형 접지전극을 설치한 경우에 접지저항은

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{a} \dots\dots\dots \text{식 (28)}$$

와 같이 표현된다. 여기서 $R[\Omega]$ 은 접지저항, $\rho[\Omega \cdot m]$ 은 대지 저항률, $l[m]$ 은 봉형 접지전극의 타설 깊이, $a[m]$ 는 봉형 접지전극의 반지름이다. 따라서 식 (28)로부터

$$\rho = \frac{2\pi l R}{\ln \frac{2l}{a}} \dots\dots\dots \text{식 (29)}$$

으로부터 대지 저항률을 역으로 산출할 수 있다.

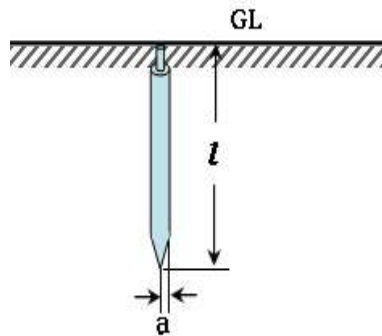


그림 14. 봉형 접지전극

3. 대지 저항률의 측정 절차

3.1 Wenner의 4전극 배치법에 의한 대지 저항률 측정 절차

대지 저항률을 측정하기 위한 측정방법 중에서 접지전극의 설계를 위하여 일반적으로 사용되는 방법은 수평탐사방법이다. 수평탐사방법은 대지 저항률의 수평적 변화특성을 파악하기 위한 것으로서, 대지특성을 정성적인 값으로 나타낸다. 수평탐사방법의 대표적인 방법이 Wenner의 4전극 배치법이다.

3.1.1 측정 장비

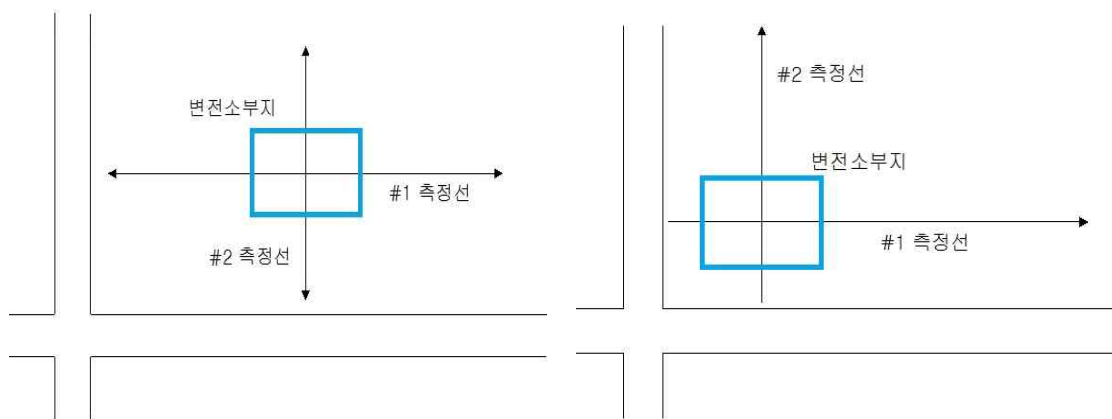
Wenner의 4전극 배치법에 의한 대지 저항률을 측정하기 위해서는 다음의 장비가 필요하다.

- 디지털 형 4단자 접지저항 측정기 : 1세트
- 접지 전극 봉(동 또는 스테인리스, 길이 50~100cm) : 4~5개
- 측정용 전선(2mm², 50m, 플라스틱 릴 포함) : 2세트
- 측정용 전선(2mm², 100m, 플라스틱 릴 포함) : 2세트
- 측정 기록 서식지
- 기타 : 절연테이프, 망치, 줄자(100m, 2개) 등등



3.1.2 측정선의 선정

전기설비 설치를 위한 부지에서 현장의 여건에 맞추어 대지 저항률 측정을 위한 측정선을 선정하여야 한다. 대지 저항률의 측정선은 한 부지에서 2회선 이상의 측정선을 선정하며, 그림 15는 현장의 여건에 맞추어서 측정선을 선정한 예를 보여준다. 그림 15(a)는 부지의 중심점에서 양쪽 방향의 측정선을 선정한 것이며, 그림 15(b)는 현장의 여건에 의하여 양쪽 방향으로 측정선을 선정할 수 없는 경우에 한쪽 방향의 측정선을 선정한 예이다.



(a) (b)
그림 15. 대지 저항률 측정선의 선정

3.1.3 측정 절차

- (1) 측정선을 선정하고 측정을 시작하기 전에 부지 주변의 설비 도면이나 매설물 감지장치 등을 이용하여 케이블, 접지 전극 및 가스·수도 파이프 등의 지하 매설물 위치를 파악한다.
- (2) 그림 16과 같이 측정선의 일직선상으로 외부에 전류 보조전극(C_1 , C_2), 내부에 전위 보조전극(P_1 , P_2)을 각각의 전극 간격이 등 간격 a 가 되도록 망치로 타설한다.
참고 : 전위 보조전극의 타설 위치가 콘크리트 혹은 아스팔트 등으로 덮여서 전극을 타설할 수 없는 경우에는 금속판(약 200mm x 200mm)을 사용하여 측정할 수 있다.
- (3) 이 때 각각의 전극 타설 깊이는 등간격의 1/20이하가 되도록 타설한다.
- (4) 각각의 보조전극에 측정용 전선을 대지 저항률 측정기의 해당 전극에 맞게 연결한다.
- (5) 대지저항률 측정기의 전원 스위치를 'ON'시키고 측정기의 측정 주파수와 전류의 크기를 적정 값으로 조절하며, 측정 전원의 필터가 있는 경우에는 필터 기능 스위치를 'ON'시킨다.

- (6) 대지저항률 측정기의 표시부에 나타나는 숫자를 대지저항[Ω] 인지, 겉보기 대지저항률[$\Omega \cdot m$] 인지를 확인하여 표 4의 대지 저항률 측정 기록지에 기록한다. 이 때 정밀한 해석을 위하여 전류 및 전위 보조전극의 타설 깊이를 기록하기도 한다. 전극 간격 a 의 길이가 3[m] 이하인 경우에는 전극의 타설 깊이가 측정에 미치는 영향이 많으므로 전류 및 전위 보조전극의 타설 깊이를 30[mm] 이하를 유지하도록 주의하여야 한다.

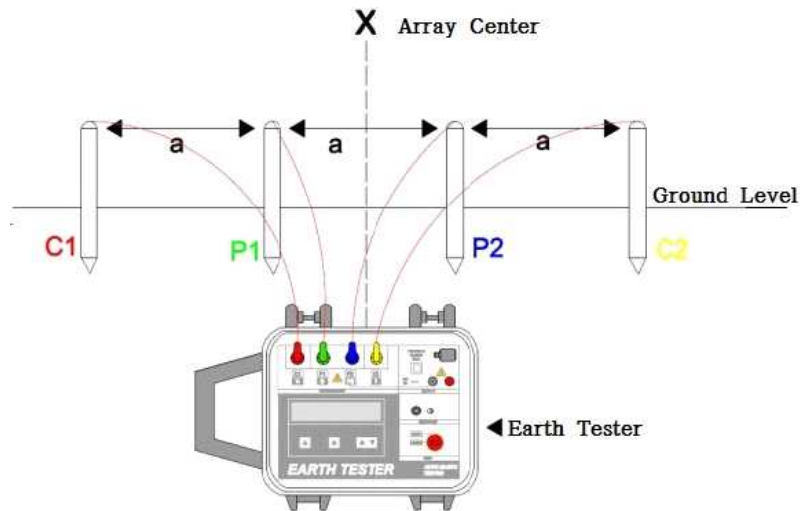


그림 16. 대지 저항률 측정을 위한 Wenner의 4전극 배치법

- (7) 전극 간격 a 를 표 4의 기록지에 표시된 간격 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 및 30[m] 등에 맞게 변화시키면서 (2)~(6)의 과정을 반복하여 측정한다. 이 때 전위 보조전극 사이의 중간점 X (그림 16)는 고정되어 있어야 한다.
- (8) 요구되는 최대 전극 간격까지 측정을 할 수 없는 경우에는 부지의 현장 여건에서 허용하는 최대 전극 간격까지 측정한다.
- (9) 대지 저항률 측정기의 측정값이 안정되도록 20~30초 정도 시간이 경과한 후에 측정값을 기록한다.
- (10) 측정용 전위 및 전류 보조전극에 연결하는 측정용 전선은 가능한 한 먼 거리를 이격시켜서 상호 유도 작용의 영향을 감소시킨다.
- (11) 측정용 전선의 피복이 벗겨진 경우에는 절단하거나 절연테이프 등으로 감아서 절연을 향상시켜야 한다.
- (12) 측정용 전선은 철제 릴이 아닌 플라스틱제 릴을 사용하여 감거나 풀어서 측정을 하여야 한다.
- (13) 도시 지역과 같이 부지의 위치에서 대지 저항률의 측정이 불가능할 경우에는 가장 가까운 개방된 지역에서 측정하는 것도 바람직하다.



- (14) 대지 저항률을 측정하는 측정선의 근처에 금속성 지하 매설물이나 금속제 울타리 등이 평행하는 경우에는 가능한 한 먼 거리(20 [m] 정도)를 이격시켜서 측정을 하고, 금속성 지하 매설물이나 울타리 등과 직각으로 경과하도록 측정선을 배치하면 문제가 없다.
- (15) 주변의 지역에서 낙뢰가 발생하는 경우에는 대지 저항률의 측정을 실시하지 않아야 한다.

3.2 간이측정법에 의한 대지 저항률의 측정 절차

Wenner의 4전극 배치법과 같이 대지 저항률의 정밀 측정을 수행하기 곤란한 장소에서 근사적으로 대지 저항률을 측정하기 위하여 사용할 수 있는 방법이 접지봉 전극을 이용한 간이 측정법이다.

표 4. 대지 저항률 측정 기록지

1. 측정개요

구 분	측 정 기 록
측 정 일 자	. . .
측정일 날씨	
측 정 장 소	
측 정 자	
측정 입회자	
측 정 방 법	
측정계측기	

2. 측정선 위치도

3. 대지저항률 Wenner 전극법 측정 기록표

측정 번호	전극간격 [m]	전극위치 [m]		타설 깊이 [m]		저 항 [Ω]		비 고
		P ₂ 전극	C ₂ 전극	전류전극	전압전극	측정선 #1	측정선 #2	
R1	0.5	0.25	0.75					
R2	1	0.5	1.5					
R3	2	1	3					
R4	3	1.5	4.5					
R5	4	2	6					
R6	5	2.5	7.5					
R7	6	3	9					
R8	7	3.5	10.5					
R9	8	4	12					
R10	9	4.5	13.5					
R11	10	5	15					
R12	15	7.5	22.5					
R13	20	10	30					
R14	30	15	45					
R15	40	20	60					
R16	50	25	75					
R17	60	30	90					
R18	70	35	105					
R19	80	40	120					
R20	90	45	135					
R21	100	50	150					

- (주) 1. 전극배열은 ($C_1 - P_1 - P_2 - C_2$)임
 2. 전극위치 P_1, P_2 는 중심점 X 로부터의 거리임



3.2.1 측정 장비

간이 측정법에 의한 대지 저항률을 측정을 위하여 다음의 측정 장비가 필요하다.

- 디지털 형 4단자 접지저항 측정기 : 1세트
- 접지봉 전극(동 또는 스테인리스, 길이 100cm) 1개
- 접지 전극봉(동 또는 스테인리스, 길이 50~100cm) 2개
- 측정용 전선(2mm², 50m, 플라스틱 릴 포함) : 2세트
- 기타 : 절연테이프, 망치, 줄자(100m, 1개) 등등
- 측정 기록 서식지

3.2.2 측정 절차

- (1) 100[cm]의 접지봉 전극을 그림 14와 같이 타설하여 설치한다.
- (2) 접지저항 측정기의 측정 단자 C_1 과 P_1 (접지저항 측정기에 따라 다른 기호 표시)를 공통으로 연결하고 타설하여 설치한 접지봉 전극과 연결한다.
- (3) 전류 보조전극 C_2 를 접지봉 전극 길이의 20~50배 거리에 설치하고, 접지저항 측정기의 측정용 단자 C_2 와 측정용 전선으로 연결한다.
- (4) 전류 보조전극 C_2 와 접지봉 전극 사이의 거리에 대하여 약 62[%]되는 지점에 전위 보조전극 P_2 를 설치하고 접지저항 측정기의 측정용 단자 P_2 와 측정용 전선으로 연결한다.
- (5) 접지저항 측정기의 전원 스위치를 'ON'시키고 접지봉 전극의 접지저항 R 을 측정한다.
- (6) 측정된 저항 값 R 을 식 (29)에 적용하여 대지 저항률을 환산한다.
- (7) 측정값은 평균값을 적용하여 해석한다. 단, 오차가 클 경우 추가 측정 등을 통해 측정값 사용 여부를 판단하여야 한다.

부속서 2. 접지 저항의 측정방법

1. 측정의 개요

모든 전기설비의 기능을 확보하거나 인체의 안전을 위하여 필요로 하는 접지시스템의 요소 중에서 가장 중요한 것이 접지저항이며, 접지저항은 접지시스템의 성능을 결정하는 기본적인 요소가 된다.

접지시스템에 대한 접지저항의 측정방법에는 2점 전극법(2-Point Method), 3점 전극법(3-Point Method) 및 전위강하법(Fall-of-Potential Method) 등의 여러 종류의 방법이 있으며, 이중에서 전위 강하법이 실용적으로 가장 일반적으로 사용되는 대표적인 방법으로서, 가장 많은 연구가 수행되어 실증된 문헌들이 발표되고 있는 방법이다. 그러나 접지 전극의 접지저항을 측정하기 위한 여건이나 환경이 일정한 조건을 만족하지 못하는 경우에는 이 방법을 적용하기 곤란하여 다른 방법을 적용하여야 하는 경우도 있다.

1.1 접지저항의 측정 원리

그림 17은 접지전극의 접지저항을 측정하는 원리를 나타낸다. 그림에서는 측정해야 할 접지전극, 측정 대상 접지전극으로부터 충분히 멀리 떨어진 임의의 다른 접지전극인 전류 보조전극(귀환전류전극), 그리고 두 전극 사이에 전류를 흐르게 하는 데 사용되는 전원을 표시하고 있다. 접지저항의 원리는 접지전극과 무한거리에 떨어져 있는 전류 보조전극에 대하여 전류 I 를 흘려서 측정 대상인 접지전극에 나타나는 대지전위인 전위 상승값을 측정하는 것이다.

임의의 접지전극 저항 측정에서 이상적인 무한거리의 대지전위 기준점(0 [V])을 쉽게 정하는 것이 가능하고, 측정 대상 접지전극과 전류 보조전극의 이격이 항상 보장된다면, 접지저항 측정은 매우 단순한 과정일 것이다. 주어진 측정전류에 대해 접지전극과 무한거리 사이의 전압 측정은 원하는 결과를 나타낼 것이다. 그러나 실제로는 이상적인 무한거리의 대지전위 기준점이나 떨어진 거리를 쉽게 얻을 수 없으므로, 유효한 결과를 얻을 수 있도록 이상적인 보조 전극의 배치에 의하여 보상하거나 확인할 수 있는 측정기법이 사용되어야 한다. 전위강하법은 이런 관점에서 가장 광범위하게 사용되는 측정기법이다.

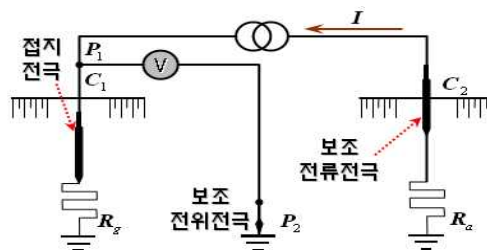


그림 17. 접지저항 측정의 원리



1.2 전위강하법(Fall-of-Potential Method)

전위강하법에 의한 접지전극의 저항 결정은 전류 보조전극과 측정 대상 접지전극으로부터의 거리를 증가시키면서 측정하는 일련의 대지표면전위 측정에 의한다. 전류 보조전극이 접지전극으로부터 충분히 멀리 떨어져 있고, 전압과 전류 측정선 사이에서 상호 유도작용의 커플링 효과가 측정결과에 영향을 주지 않는 한, 전위 측정은 측정 전류에 의해 측정 대상전극의 전위 상승을 파악하는(또는 점근적인) 수준에 이를 것이다. 전위강하법에 의한 접지저항을 측정하기 위한 전극의 일반적인 배치는 그림 18과 같다.

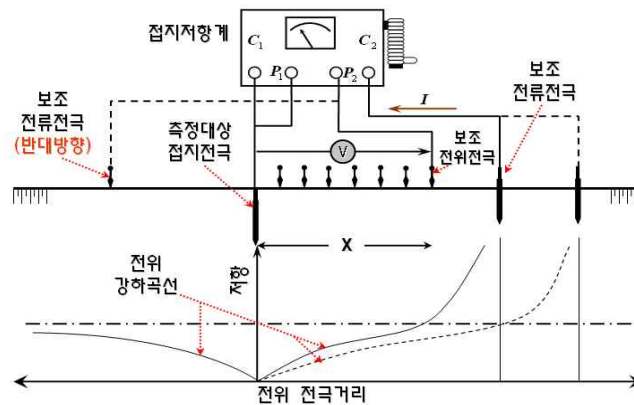


그림 18. 전위강하법의 측정회로와 전형적인 측정 결과

전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 은 측정하고자 하는 접지전극과 연결된다. 무한거리의 전류 보조전극은 C_2 로 표현된다. 전위 보조전극 P_2 는 측정 대상인 접지전극으로부터 일정한 간격만큼 멀어지면서 위치하면서, 흘린 전류와 대지전위의 측정은 각각의 전위 보조전극 P_2 점마다 수행한다. 각각의 전위 보조전극 P_2 점에서의 겉보기 접지저항 값은 대지전위와 전류 측정값의 조합으로부터 결정된다. 만약 겉보기 접지저항이 전극사이의 거리에 대하여 그려진다면, 겉보기 접지저항 값들은 전위 보조전극 P_2 가 접지전극으로부터 멀어지면서 변화하는 것이 관찰된다.

전류 보조전극 C_1 은 측정 대상 접지전극에 연결되고, 다른 하나의 전류 보조전극 C_2 는 멀리 떨어진 곳에서 대지와 연결된다. 측정 장비는 두 전류 보조전극 사이의 전류를 대지로 주입한다. 하나의 전위 보조전극 P_1 은 측정 대상 접지전극에 연결되지만 다른 전위 보조전극 P_2 와 전류 보조전극 C_2 사이에 대지에서 위치하게 된다. 전위 측정은 전류 보조전극에 의해 대지에 주입된 전류로 인한 전위를 감지한다. 측정 장비는 전류와 전위를 측정하고 내부적으로 식 (30)과 같이 계산한 다음에 저항 값을 표시한다.

$$R = \frac{V}{I} [\Omega] \dots\dots\dots \text{식 (30)}$$

측정 장비가 나타내는 저항 값은 접지전극과 전위 보조전극 P_2 사이의 저항이다. 전위 보조전극 P_2 와 전류 보조전극 C_2 가 모두 접지전극으로부터 충분히 떨어져 있다면, 즉 접지전극의 영향을 받지 않는다면 측정 장비의 판독 값은 원격 대지에 대한 접지전극의 저항에 해당된다.

전위강하법에 의한 측정을 수행하는데 있어서, 전압 측정선은 전류 측정선과 같은 방향이거나 또는 보통 90°의 각도로 펼쳐진다. 비록 좀 불편하더라도, 전압과 전류 측정선을 서로 직각으로 유지하는 것이 전선사이의 상호 임피던스를 최소화할 수 있다. 이것은 접지전극의 임피던스를 측정할 때가 가장 바람직한 배치이다.

측정대상 접지전극의 저항이 1[Ω] 보다 더 크고 전류 보조전극이 적절히 먼 거리에 배치되어 있다면, 측정 대상 접지전극에서부터 전류 보조전극까지 각각의 전위 보조전극에서 측정된 전위강하곡선(potential profile)은 그림 18의 전위 분포곡선과 유사하게 나타날 것이다. 전위 분포곡선에서 측정대상 접지전극 뿐만 아니라 전류 보조전극의 영향도 받지 않는 영역을 나타내는 부분은 뚜렷하게 평평한 부분이라는 것을 쉽게 알 수 있다.

전위 분포곡선의 평평한 부분에서 관찰되는 겉보기 접지저항 값이 측정대상 접지전극의 접지저항 값이 된다. 그러나 많은 경우에 전위강하법으로 측정한 결과로부터 얻어지는 곡선은 그림 18의 전위분포곡선 모양과 비슷하지 않기 때문에 측정데이터를 이용한 해석절차를 거치거나 측정 위치 등을 수정하여야 한다. 그림 19는 측정한 전위 분포 곡선의 사례를 보인 것이다.

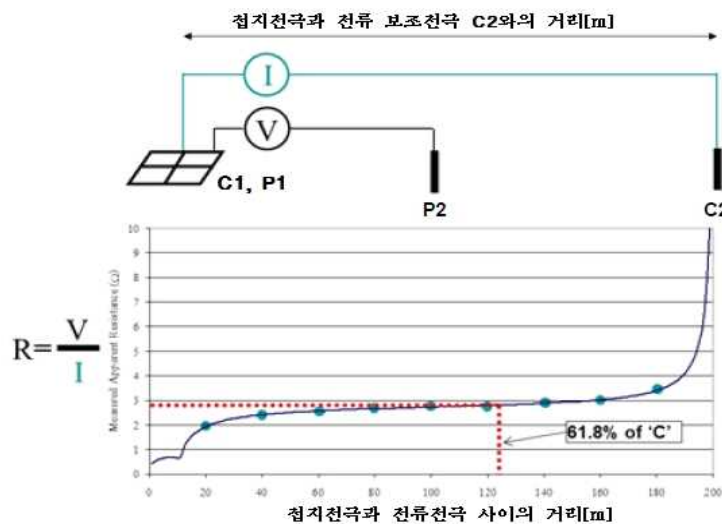


그림 19. 측정된 전위분포 곡선



1.3 전위강하법에서 전류 보조전극의 거리

대지에 설치된 접지전극은 지구의 동심원 껍질에 둘러싸여 있다고 가정할 수 있다. 전위강하법에 의한 측정은 측정 대상 접지전극의 중심에서 전류 및 전위 보조전극까지의 거리를 기반으로 한다. 측정 대상 접지전극으로부터 전류 보조전극 C_2 사이의 거리에 따라 측정된 전위분포의 영향을 보인 것이 그림 20이다.

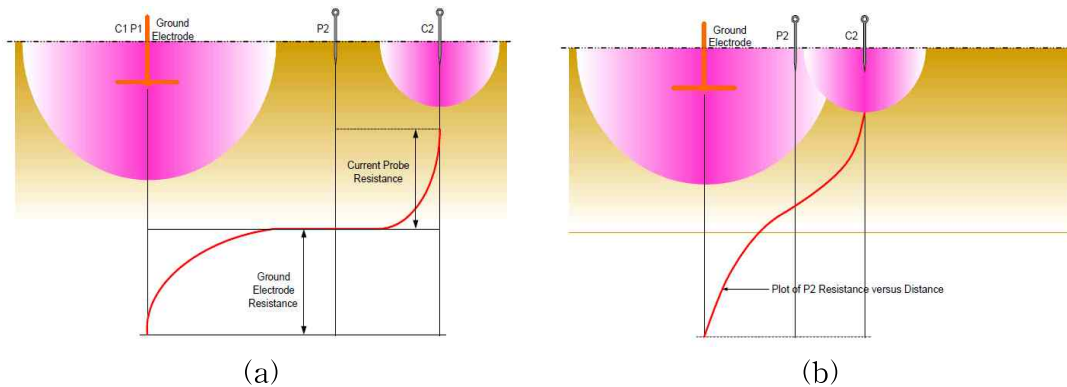


그림 20. 접지전극과 전류 보조전극의 거리 영향

전류 보조전극 C_2 가 측정 대상 접지전극에서 멀리 떨어질수록 영향은 더 적게 나타난다. 전류 보조전극 C_2 의 가장 적정 거리는 접지전극 최대 크기의 최소 10~20 배를 권장하고 있다. 그러나 전철변전소의 경우에는 현장의 여건상 접지전극 최대 크기의 최소 2~3 배 이상으로 측정한다. 다만 현장의 여건상 건물이나 포장도로 등과 같은 지형이나 장애물은 대형 접지시스템을 측정하는 데 사용할 수 있는 공간을 확보할 수 있다면, 가능한 한 가장 먼 거리를 사용하여 허용 가능한 정확도를 얻을 수 있어야 한다.

전위강하법에서는 그림 21과 같이 측정 대상 접지전극 중심과 전류 보조전극 사이의 거리의 61.8 %에 위치할 때 실제 접지전극의 저항이 측정된다.

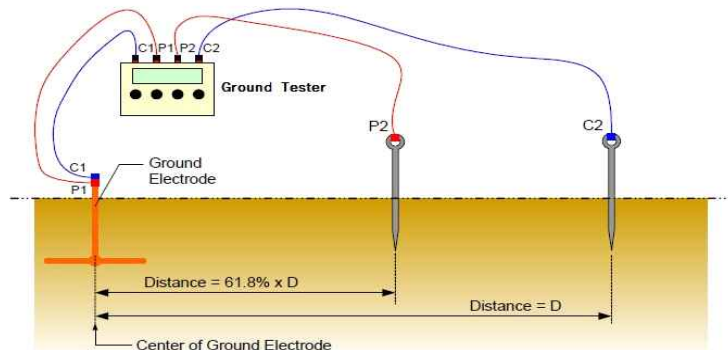


그림 21. 전위강하법의 61.8% 법칙

1.4 전위강하법에서 전류 및 전위 보조전극(C_1 과 P_1)의 연결

접지전극의 접지저항을 전위강하법으로 측정할 때, 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 은 측정 장비 또는 접지전극에 함께 연결된다. 측정 장비에서 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 을 점퍼로 연결하면 측정 장비에서 접지 전극까지의 전선 저항이 측정된 접지저항 판독 값에 추가되어 표시된다. 그림 22는 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 과 접지전극의 연결 방법을 보인 것이다.

그림 22(a)와 같이 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 을 측정 장비에서 점퍼로 연결하는 경우에는 항상 측정 장비와 접지전극 사이의 거리가 짧은 거리이거나 측정선의 저항이 낮은 도체를 사용하여야 한다. 또한, 측정 장비와 접지 전극 사이의 거리가 먼 거리이거나 측정선의 저항이 높은 도체를 사용하는 경우에는 그림 22(b)와 같이 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 을 별도의 측정 선으로 접지 전극과 연결하여야 한다. 이와 같은 방식으로 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 을 접지전극에 연결하면 도체의 길이와 크기는 측정에 영향을 미치지 않는다. 다른 두 보조전극 전류 보조전극 C_2 과 전위 보조전극 P_2 에 연결하는 측정 선의 크기는 전기적 관점에서는 중요하지 않지만 필요한 물리적 강도를 제공할 만큼 충분한 굵기를 가져야 한다.

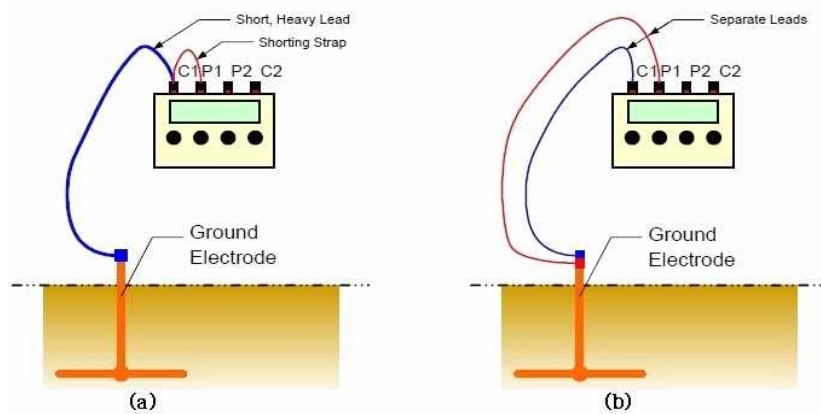


그림 22. 전류 보조전극 C_1 과 전위 보조전극 P_1 의 접지전극 연결



2. 전위강하법에 의한 접지저항의 측정절차

전위강하법은 접지전극 시스템의 저항을 측정하는 가장 일반적인 방법이지만 대형 접지전극 시스템을 측정할 때는 특별한 절차가 필요하다.

전위강하법의 기본 절차는 먼저 측정 장비의 터미널 C_1 과 P_1 을 측정 대상의 접지전극에 연결하고 측정 장비의 터미널 C_2 를 접지전극에서 어느 정도의 거리가 떨어져 있는 전류 보조전극에 연결한 다음에 마지막으로 측정 장비의 터미널 P_2 사이의 가변 거리에 위치한 전위 보조전극에 연결한다. 두 개의 보조전극은 일반적으로 직선으로 배치된다. 각각의 전위 보조전극 위치에서 저항이 기록된다. 이 측정 결과는 그래프로 접지전극 저항을 결정하기 위해 그린다. 전위강하법에 의한 접지저항의 측정을 위한 장비와 절차는 다음과 같다.

2.1 측정 장비

접지전극의 접지저항을 측정하기 위해서는 다음의 장비가 필요하다.

- 디지털 형 4단자 접지저항 측정 장비 : 1세트
- 접지 전극 봉(동 또는 스테인리스, 길이 50~100cm) : 2개
- 측정용 전선(2mm², 200m, 플라스틱 릴 포함) : 2세트
- 참고 : 대형 변전소인 경우 2mm², 1,000m(플라스틱 릴 포함) 2개
- 측정 기록 그래프 서식지
- 기타 : 절연테이프, 망치, 줄자(100m, 2개) 등등

2.2 측정 절차

- (1) 운전 중인 전기설비는 전원을 끄고 접지전극을 설비로부터 분리한다.
- (2) 접지저항 측정 장비의 C_1 과 P_1 단자를 공통(그림 22의 조건을 고려하여)으로 측정하고자 하는 접지전극에 연결한다.
- (3) 측정 대상 접지전극 길이(사각형 그리드인 경우에 긴 변의 길이)의 약 2~3배의 거리에 측정용 전류 보조전극 C_2 를 타설한 후에 측정 장비의 C_2 단자에 연결한다. 현장의 여건을 고려하여 전류 보조전극 C_2 점까지의 거리는 가능한 한 최대 거리를 확보하여야 한다.
- (4) 측정용 전위 보조전극 P_2 을 측정하려는 그림 21과 같이 접지전극으로부터 일직선상으로 가장 가까운 거리로부터 시작하여 대지에 타설하고, 측정 장비의 P_2 단자에 연결한 후 측정을 한다. 이때 정밀 측정을 위해서는 전위 보조전극 P_2 의 측정 점은 일반적으로 1~5[m] 간격(혹은 전류 보조전극 C_2 까지 거리의 5~10% 거리 간격)으로 전류 보조전극 C_2 까지 이동하면서 측정한다.

- (5) 4단자 접지저항 측정 장비의 종류에 따라 다르지만, 인가되는 시험 전류의 선택범위 (10[mA], 20[mA], 50[mA] 등)와 측정되는 접지저항의 선택범위(2[Ω], 20[Ω] 등)가 있는 경우에는 각각의 선택 범위를 정한 후에 측정을 하면 된다. 일반적으로 측정용 버튼을 누른 상태에서 측정기의 LCD계기판에 표시된 값을 읽는다. 일정한 시간이 경과한 후에 LCD 계기판에 변화 없는 안정된 값이 표시되면 이 값을 접지저항 측정용 기록지에 기록한다.
- (6) 전위 보조전극 P_2 점을 이동할 경우에는 P_2 점 측정용 전선을 측정 장비로부터 분리 하여야 한다.
- (7) 전류 보조전극 C_2 의 측정용 전선과 전위 보조전극 P_2 의 측정용 전선은 교차하는 구간이 없이 300[mm] 이상 거리를 유지하여야 한다.
- (8) 측정용 전위 보조전극을 1~5[m]의 간격으로 이동하면서 과정 ④~⑦의 방법으로 측정을 반복한다. 단, 전류 보조전극 C_2 점까지 거리의 61.8[%]가 되는 점의 부근에서는 전위 보조전극 P_2 점의 이동간격을 1[m]로 하면서 반복하여 측정하고 기록한다.
- (9) 측정이 끝나면 X축에 측정거리를, Y축에 측정한 접지저항을 기록하여 측정한 접지저항에 의한 측정곡선을 그린다. 일반적으로 C_2 점까지의 거리에 대한 약 61.8[%]되는 측정 점의 접지저항이 측정하려는 접지전극의 접지저항이 된다.
- (10) 측정 점마다의 접지저항을 그래프에 그렸을 때, 접지전극으로부터 C_2 점까지의 거리가 충분하게 떨어진 경우에는 그림 20(a)와 같이 그래프의 기울기가 평탄한 부분이 얻어지게 되며, 이 부분의 값이 측정하려는 접지전극의 저항 값으로서, C_2 점까지의 거리에 약 61.8[%] 되는 지점이 된다. 이 값을 그래프로부터 읽어 접지저항 측정 기록표에 기록한다.
- (11) 측정 점마다의 접지저항을 그래프에 그렸을 때, 그림 20(b)와 같이 그래프의 기울기가 평탄한 부분이 나타나지 않으면 접지전극으로부터 C_2 점까지의 거리가 충분하게 떨어지지 못한 결과로서 거리를 충분하게 이격하여 다시 측정하여야 정확한 접지전극의 저항을 측정할 수 있다. 전류 보조전극 C_2 점까지의 거리 변화에 따른 측정 결과의 변화를 보인 것이 그림 23이다.

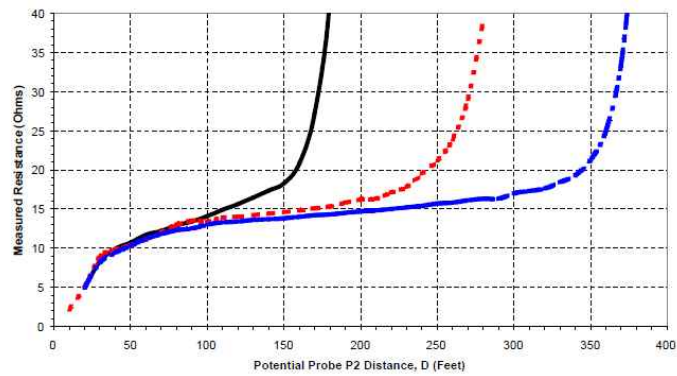


그림 23. C_2 의 거리에 따른 측정결과

- (12) 개략적인 측정을 위해서는 전류 보조전극 C_2 까지 거리의 약 61.8[%] 정도의 점에서 $\pm 1 \sim 5[m]$ 점의 접지저항을 측정하여 3점의 평균값을 적용한다.
- (13) 지락고장의 가능성이 높은 지역에서는 측정 작업을 진행하면 안 된다. 또한, 낙뢰가 발생하는 경우(주변의 연결된 전기설비의 개폐장치 동작)에도 측정 작업을 진행하면 안 된다.
- (14) 측정 장비는 측정대상 접지전극(변전소의 접지그리드) 내에 설치되어야 가능한 접촉전압을 감소시킬 수 있다. 접지전극 외부에 측정 장비를 설치하는 경우에는 등전위 매트 등을 이용하여 그 위에 설치하고 측정 작업을 진행한다.

RECORD HISTORY

- Rev.3(12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.
- Rev.4(14.12.29) 변전소 접지 용어를 공용접지에서 공통접지로 수정
- Rev.5(15.06.29) 접지설계에 대한 적정간격 명문화, 해설1 부대설비 및 기타 보호 안전설비 강화 등 설계기준 개선발굴을 위한 워크숍 결과반영(설계기준처-945 '15.04.06)
- Rev.6(18.12.14) '전철변전소 접지저항 기준 적정성에 대한 연구' 결과를 반영하여 개정 (KR연구원-2256호, '18.09.27.)
- Rev.7(21.02.15) '전철변전소 접지 설계기준 정립(안)' 결과 반영(기준심사처-3369호 '20.08.24)